



**ENSP**  
ECOLE NATIONALE DE  
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

---

**Ingénieur du Génie Sanitaire**  
**Promotion 2005 – 2006**

---

## **ATELIER SANTE ENVIRONNEMENT**

### **Enfouissement de carcasses d'animaux en cas d'épizootie majeure**

---

**Marie BERTRAND**

**Jean-Marie QUEMENER**

**Anne-Marine ROBERT**

**Référent pédagogique : Jean CARRE**

---

## Remerciements

---

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre référent pédagogique **Jean CARRE** pour avoir encadré ce travail, pour ses conseils avisés et pour sa bonne humeur.

Nous remercions également **Jean-Paul LE DANTEC**, chargé du service régional vétérinaire de Bretagne à la DSV d'Ille-et-Vilaine, d'avoir accueilli notre travail avec enthousiasme.

Merci à **Garance MAURIN**, responsable du service « Santé Environnement » de la DDASS du Loiret, à **Jean-Claude ROUX**, hydrogéologue ainsi qu'à **Didier ROOSE**, chef du Service « Santé et protection animales » de la DDSV du Loiret, pour leur accueil chaleureux et leurs précieuses informations sur la crise de la fièvre aphteuse en 2001.

Nous remercions **Jean-José FERRACCI CECCALDI**, hydrogéologue, de nous avoir transmis ses informations à propos des pratiques en Corse.

Nous adressons nos remerciements à **Mr DELALANDE**, exploitant agricole à Illifaut (22), pour nous avoir permis de mettre à jour une fosse d'enfouissement.

Enfin, nous remercions notre enseignant **Jean LESNE** pour ses éclairages en microbiologie.

---

# Sommaire

---

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Revue des pratiques d'élimination des carcasses animales à l'étranger .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Techniques d'enfouissement mises en œuvre en Grande Bretagne et aux Etats-Unis.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Enfouissement à la ferme dans des tranchées .....	3
1.1.2 Mise en décharges officielles .....	3
1.1.3 Enfouissement en fosses communes .....	4
<b>1.2 Exemple en Grande Bretagne : la fièvre aphteuse en 2001 .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Description de la fièvre aphteuse.....	5
1.2.2 Contexte .....	5
1.2.3 Ampleur de l'épidémie.....	6
1.2.4 Options de gestion.....	6
1.2.5 Décryptage de la crise.....	8
1.2.6 Retour d'expérience sur la gestion des lixiviats d'un site d'enfouissement massif en Ecosse.....	10
1.2.7 Bilan sanitaire .....	11
<b>1.3 Canada.....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Choix du site d'enfouissement .....	11
1.3.2 Types de fosses .....	13
<b>1.4 Bilan des pratiques à l'étranger .....</b>	<b>13</b>
<b>2 Etat de l'art des pratiques d'enfouissement en France.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 La réglementation en vigueur.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Cahier des charges communément admis pour la réalisation d'enfouissements.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Contexte naturel .....	15
2.2.2 Les critères liés à l'environnement du site .....	17
2.2.3 Gestion des opérations .....	17
2.2.4 Critiques des cahiers des charges en vigueur .....	19
<b>2.3 Cas pratiques.....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Suspicion de fièvre aphteuse dans le Loiret .....	19
2.3.2 Fièvre Catarrhale en Corse .....	24
<b>2.4 Exhumation d'une fosse d'enfouissement.....</b>	<b>29</b>

2.5	<b>Bilan des pratiques françaises.....</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>Caractérisation des dangers liés à l'enfouissement de carcasses animales .....</b>	<b>34</b>
3.1	<b>Identification des dangers.....</b>	<b>34</b>
3.2	<b>Pollution microbiologique de l'environnement.....</b>	<b>34</b>
3.2.1	Survie des microorganismes dans le sol .....	34
3.2.2	Survie des microorganismes dans l'eau .....	35
3.2.3	Survie des microorganismes dans les plantes .....	36
3.2.4	Espérance de vie des microorganismes dans l'environnement et dangers pour la santé humaine.....	36
3.3	<b>Pollution chimique de l'environnement.....</b>	<b>37</b>
3.3.1	Description du processus biologique .....	37
3.3.2	Les sous-produits issus de la dégradation .....	38
3.3.3	Analogie avec la décomposition du corps humain .....	39
3.3.4	Quantités de liquides issus de la décomposition d'une carcasse animale .....	40
3.3.5	Facteurs influençant la vitesse de décomposition.....	41
3.4	<b>Risques pour les manipulateurs .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Impact de l'enfouissement de volailles atteintes d'influenza aviaire .....</b>	<b>42</b>
4.1	<b>Le virus H5N1 .....</b>	<b>42</b>
4.1.1	Caractéristiques des virus d'influenza de type A.....	42
4.1.2	Infections aux virus d'influenza A aviaires .....	43
4.1.3	Matières virulentes et transmission.....	44
4.1.4	Persistances des virus d'influenza dans l'environnement .....	44
4.2	<b>Gestion d'une épizootie .....</b>	<b>45</b>
4.2.1	Principe de gestion .....	45
4.2.2	Contraintes techniques de l'élimination des volailles .....	45
4.2.3	L'abattage des volailles .....	45
4.3	<b>Caractérisation des dangers liés à l'enfouissement de volailles.....</b>	<b>46</b>
4.3.1	Pollution chimique : Scénario de dégradation d'une carcasse de poulet.....	46
4.3.2	Risques pour les manipulateurs .....	49
	<b>Conclusion.....</b>	<b>51</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>53</b>
	<b>Liste des annexes .....</b>	<b>I</b>

---

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'enfouissement à la ferme.....	3
Tableau 2 : Avantages et inconvénients de la mise en décharge officielle.....	4
Tableau 3 : Avantages et inconvénients de l'enfouissement en fosses communes.....	5
Tableau 4: Nombre d'animaux malades éliminés dans les foyers d'infection pendant l'épidémie de 1967 et en 2001.....	6
Tableau 5 : voie d'élimination selon l'espèce et l'âge de l'animal .....	8
Tableau 6 : Evaluation du niveau de contamination potentielle de la nappe selon le type de terrain.....	12
Tableau 7 : Masse maximale de carcasses à enfouir et distance au forage en fonction du potentiel de contamination de la nappe .....	12
Tableau 8 : Suivi des paramètres microbiologiques dans la nappe .....	23
Tableau 9 : Résultats des analyses effectuées sur l'eau de nappe en amont de la fosse	32
Tableau 10: Espérance de vie des microorganismes dans l'environnement.....	36
Tableau 11 : Masse (en kg) des principaux composés chimiques relargués par un corps humain de 70 kg pour différentes années après l'enfouissement .....	39
Tableau 12 : Pourcentages de relarguage issu de la décomposition au bout de 1 et 10 ans .....	40
Tableau 13: Quantités de liquide rejeté pour différentes espèces 1 semaine après la mort et 2 mois après la mort de l'animal .....	40
Tableau 14: Masse de différents acides aminés contenue dans 1 kg de poulet mâle adulte .....	47
Tableau 15 : Masse d'azote apportée par différents acides aminés.....	47
Tableau 16: Quantités d'azote, de carbone et de phosphore (en kg) contenues dans 1 kg et 10 000 kg de poulet déterminée à partir des pourcentages humains.....	48
Tableau 17 : Masses totale (sur les 5 ans) relarguées par 10 000 kg de poulet, et flux annuels générés .....	49

---

## Liste des figures

---

Figure 1 : Schéma en coupe d'un caisson de décharge .....	4
Figure 2 : Evolution du pH des lixiviats de juillet 2001 à mars 2003.....	10
Figure 3 : schéma en coupe d'une fosse pouvant contenir au minimum 500 kg de carcasses.....	13
Figure 4 : Schéma en coupe d'un puit pouvant contenir au minimum 50 kg de carcasse	13
Figure 5 : Coupe schématique du sol .....	21
Figure 6 : Schéma de description de la fosse et vue d'ensemble .....	21
Figure 7 : Schéma en coupe du principe du remplissage de la fosse.....	22
Figure 8 : Photos du remplissage de la fosse dans la Loiret.....	22
Figure 9 : Coupe d'une tranchée.....	27
Figure 10 : Principe de confinement adopté en Corse .....	28
Figure 11 : Vue générale du site .....	29
Figure 12 : Coupe schématique du sol .....	30
Figure 13 : Vue de la fouille témoin.....	31
Figure 14 : Photos de carcasses de dindes déterrées du site d'enfouissement d'Illifaut ..	31
Figure 15: Schéma structurel des virus d'influenza de type A .....	43
Figure 16: Schématisation du transfert des composés de la fosse d'enfouissement à la nappe phréatique.....	48

---

## Liste des sigles utilisés

---

**COT** : Carbone Organique Total

**DDAF** : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt

**DDASS** : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

**DDE** : Direction Départementale de l'Équipement

**DDSV** : Direction Départementale des Services Vétérinaires

**ESB** : Encéphalopathie Spongiforme Bovine

**MES** : Matières En Suspension

**MRC** : Maladie Réputée Contagieuse

**PASER** : Plan d'Action Stratégique de l'État en Région

**SDIS** : Service Départemental d'Incendie et de Secours

**UIOM** : Unité d'Incinération d'Ordures Ménagères

**US EPA** : Environmental Protection Agency of United States

---

# Introduction

---

Depuis les années 1990, la France et ses voisins européens ont été confrontés à des vagues d'épizooties (épidémies animales) largement médiatisées. D'abord, en 1996, l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) soulève les angoisses des européens, puis en 2001, la fièvre aphteuse menace les élevages porcins et ovins. Aujourd'hui, l'influenza aviaire et plus particulièrement le virus de souche H5N1 sème la panique à travers le monde.

Ces épizooties sont une menace sérieuse pour l'économie agricole mais aussi pour la santé humaine dans le cas de certains agents. Ainsi, lors de ces crises, afin d'enrayer la propagation des agents pathogènes, les autorités procèdent à l'abattage systématique des cheptels présentant un ou plusieurs animaux malades. Cette mesure, nécessaire à la protection des élevages et des hommes est particulièrement traumatisante pour les éleveurs qui voient leur travail anéanti, mais aussi pour l'opinion publique. Les images de charniers ou de bûchers ont été, en effet, largement diffusées au cours des épisodes d'ESB et de fièvre aphteuse.

Cette politique d'abattage doit être menée rapidement. Il s'agit d'anticiper la propagation de l'épizootie. Il en résulte une importante production de cadavres dans un laps de temps assez bref. Les carcasses animales ainsi générées doivent être éliminées dans des conditions telles que les agents pathogènes soient détruits sans conséquence sur la salubrité publique.

En temps ordinaire, les carcasses animales sont traitées par le service public d'équarrissage. Les cadavres sont stérilisés puis transformés en farines animales. Toutefois en cas de crise (surmortalité dans les élevages suite à un épisode de canicule ou abattages massifs), les usines d'équarrissage peuvent connaître une saturation passagère. Pour des raisons d'hygiène et de maîtrise des épizooties, les cadavres ne peuvent rester en souffrance. Il est donc nécessaire d'envisager d'autres méthodes d'élimination. C'est dans ce contexte qu'il est envisageable d'avoir recours à l'enfouissement des carcasses dans des fosses.

Ce travail sur l'enfouissement des carcasses animales entre dans le cadre des actions 2004-2006 du Plan d'Action de l'Etat en Région (PASER) Bretagne. L'objectif affiché au PASER est de rechercher une excellence sanitaire en élevage en établissant un plan opérationnel régional d'intervention des services de l'Etat en cas d'épizootie et de zoonoses. Ainsi, les services vétérinaires d'Ille et Vilaine doivent proposer des mesures d'urgence concernant l'abattage et l'élimination d'animaux d'élevage en cas de crise.

Le volet enfouissement de ce plan, que nous traitons dans ce rapport, vise à caractériser les risques sanitaires et environnementaux liés à l'enfouissement des carcasses animales. Considérant les inquiétudes que pose en ce début 2006 l'épizootie mondiale d'influenza aviaire, nous essaierons de donner des recommandations pour l'élimination de cadavres de volailles infectées par le virus H5N1. Après un panorama international de la gestion des carcasses puis un état des lieux des modalités d'enfouissement en France, nous examinerons d'abord la persistance des agents pathogènes dans l'environnement puis l'impact de la décomposition des carcasses sur l'environnement.

# 1 Revue des pratiques d'élimination des carcasses animales à l'étranger

Le PASER vise l'excellence sanitaire dans la gestion d'épizootie ou de zoonoses. Il est intéressant d'avoir une vue sur les pratiques mises en œuvre à l'étranger, car elles peuvent être riches d'enseignements, surtout par une approche différente de la gestion du risque.

## 1.1 Techniques d'enfouissement mises en œuvre en Grande Bretagne et aux Etats-Unis

Il existe trois techniques différentes d'enfouissement de carcasses. <sup>[1]</sup>

### 1.1.1 Enfouissement à la ferme dans des tranchées

Le principe consiste à creuser un trou dans la terre, y placer les carcasses puis recouvrir avec la terre excavée.

Les caractéristiques du sol sont importantes afin de déterminer la compatibilité du sol avec ce type d'enfouissement : la topographie, les propriétés hydrogéologiques, la proximité avec de l'eau (de surface ou souterraine), des lieux publics, l'accessibilité au site, et l'utilisation future du site.

D'une manière générale, les régions adaptées à cette technique sont celles pour lesquelles la nappe phréatique est profonde et le type de sol imperméable.

**Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'enfouissement à la ferme**

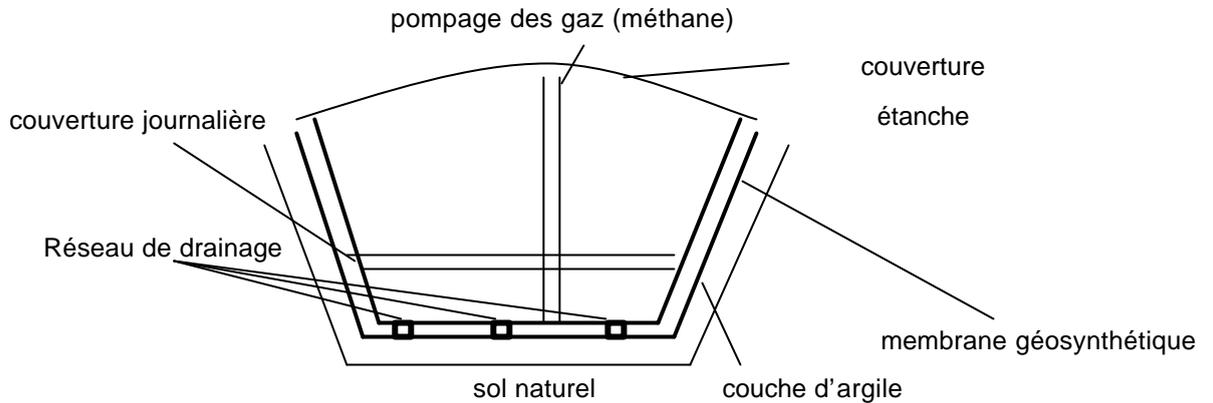
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- logistique simple, rapide surtout pour les mortalités journalières,</li><li>- élimination du transport de matériel potentiellement infecté,</li><li>- discrétion auprès du grand public.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- traitement de peu de carcasses,</li><li>- effets environnementaux potentiels, en particulier sur la qualité des eaux, et risque de persistance des agents pathogènes dans l'environnement.</li><li>- élimination des carcasses étant un processus très lent (dizaines d'années), manque de connaissances sur les effets à long terme.</li></ul>

### 1.1.2 Mise en décharges officielles

Au Royaume-Uni et aux Etats-Unis, les carcasses peuvent être admises dans des décharges sous certaines conditions. Il s'agit d'opérations réglementées, créées et conçues avec des systèmes complexes destinés à protéger l'environnement.

L'élimination des carcasses en décharge freine leur dégradation pour minimiser les flux de liquides et de gaz dans l'environnement. Les carcasses sont disposées dans des caissons étanches (Figure 1) et les lixiviats et les gaz générés sont recueillis par des

système de drainage. Il ne s'agit pas ici d'enfouissement dans le sol naturel, et la décomposition est beaucoup plus lente. C'est donc plutôt un moyen de stockage des carcasses qu'un moyen d'élimination.



**Figure 1 : Schéma en coupe d'un caisson de décharge**

Les caractéristiques des sites homologués pour recevoir des déchets (US EPA) sont les suivantes :

- localisation : proximité restrictive de marécages, zones souvent inondées...
- barrières composites : membrane flexible et sol de conductivité hydraulique inférieure à  $1.10^{-7}$  cm/sec,
- système de récupération des lixiviats,
- système de surveillance : surveillance de la qualité de la nappe phréatique,
- gaz : contrôle des gaz explosifs.

Le tableau suivant résume les avantages et inconvénients de cette pratique.

**Tableau 2 : Avantages et inconvénients de la mise en décharge officielle**

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- en période d'épidémie, le temps est limité ; pour cette technique, les caissons sont préétablis et donc directement disponibles,</li> <li>- grande quantité de carcasses traitée par cette méthode,</li> <li>- peu de risques pour l'environnement,</li> <li>- les décharges sont dispersées sur le territoire, ce qui limite les problèmes liés au transport.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- accord des gérants de décharge à obtenir (ils préfèrent les ordures ménagères),</li> <li>- plutôt un moyen de stockage qu'un moyen d'élimination,</li> <li>- management du déchet à long terme nécessaire (pompage des lixiviats...),</li> <li>- risque de diffusion potentielle d'agents infectants pendant le transport de matières infectées vers une décharge officielle.</li> </ul>

### **1.1.3 Enfouissement en fosses communes**

Cette technique fait référence à un site d'enfouissement dans lequel un grand nombre de carcasses animales provenant de différents lieux sont entreposées.

L'enfouissement massif ressemble à la mise en décharge, à l'exception faite que les sites d'enfouissement massif sont dédiés à la réception de carcasses animales, car il ont été créés dans ce but et ne sont pas préétablis, à la différence des décharges.

Cette technique a est très controversée par l'opinion publique car l'évaluation de l'aptitude de certains sites peut parfois être faite très grossièrement.

**Tableau 3 : Avantages et inconvénients de l'enfouissement en fosses communes**

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- très grande capacité,</li> <li>- si évaluation du site correcte, peu de risque pour l'environnement (comme pour la mise en décharge).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- opposition du public,</li> <li>- problème de mauvaise évaluation des sites (voire d'absence d'évaluation) conduisant à des épisodes de contamination,</li> <li>- nécessité d'une gestion de risques à long terme, qui engendre des coûts importants,</li> <li>- mêmes inconvénients que la mise en décharge : plutôt un moyen de stockage que d'élimination, manque de connaissances des conséquences à long terme, diffusion pendant le transport.</li> <li>- gestion des lixiviats à prévoir: traitement ? envoi vers une usine de traitement ? dégradation naturelle ?</li> <li>- évaluation des sites préalable requise afin que cette technique puisse être utilisée convenablement en cas d'épidémie.</li> </ul>

## **1.2 Exemple en Grande Bretagne : la fièvre aphteuse en 2001**

### **1.2.1 Description de la fièvre aphteuse**

La fièvre aphteuse est une maladie infectieuse virulente, inoculable, épizootique, d'une contagiosité très importante et subtile. C'est une maladie réputée contagieuse (MRC) en France dans les espèces bovine, ovine et caprine.

Il s'agit d'un virus dépourvu d'enveloppe (virus nu), de très petite taille. Il se trouve essentiellement dans l'air expiré et les excréments des animaux malades. <sup>[2]</sup>

### **1.2.2 Contexte**

En 2001, la Grande Bretagne a connu une épidémie de fièvre aphteuse <sup>[3]</sup>. Cette épidémie était différente de celle de 1967 pour plusieurs raisons :

- la diffusion du virus a été facilitée en 2001 par les mouvements d'animaux, en particulier chez les moutons pour lesquels l'identification de la maladie était difficile,
- le problème de la persistance du prion lié à l'ESB rend la gestion des carcasses difficile,

- la législation environnementale a changé : en 2001, il est nécessaire d'obtenir une autorisation avant d'enfourir à la ferme ou de brûler. C'est une conséquence de l'émergence des préoccupations environnementales.

Au début de l'épidémie, les carcasses étaient enfouies à la ferme ou brûlées dans des bûchers. Mais ces solutions ne pouvaient plus être mises en œuvre quand l'épidémie est devenue importante car les quantités de carcasses à éliminer sont devenues trop importantes.

Le challenge a alors été de trouver de nouvelles méthodes pour l'élimination des carcasses afin de juguler l'épidémie et de minimiser les risques potentiels pour la santé publique et l'environnement, en particulier la contamination d'eau souterraine ou de surface et la pollution de l'air.

### 1.2.3 Ampleur de l'épidémie

Le nombre de bovins en Angleterre en 2001 est le même qu'en 1967, soit entre 11 et 12 millions de têtes. Cependant, le nombre de montons est passé de 28 millions en 1967 à 40 millions en 2001. Le nombre d'exploitations a diminué entre 1967 et 2001 mais la taille de chaque exploitation a augmenté.

La taille importante des exploitations et les mouvements d'animaux ont entraîné une contamination rapide de troupeaux entiers, et donc un nombre beaucoup plus important d'animaux touchés en 2001 qu'en 1967 comme le montre le tableau suivant.

**Tableau 4: Nombre d'animaux malades éliminés dans les foyers d'infection pendant l'épidémie de 1967 et en 2001<sup>[3]</sup>**

<b>Nombre de foyers d'infection et détail des animaux</b>	<b>Epidémie de fièvre aphteuse de 1967</b>	<b>Epidémie de 2001</b>
<b>Nombre de foyers</b>	2 364	2 030
<b>Bovins</b>	211 825	306 053
<b>Porcins</b>	113 766	20 204
<b>Ovins</b>	108 345	954 139
<b>Caprins</b>	51	882
<b>Nombre total d'animaux</b>	433 987	1 281 278

En 2001, au total, environ 6,6 millions d'animaux (animaux malades + animaux tués par prévention) ont été tués, soit environ 600 000 tonnes de carcasses à éliminer.

### 1.2.4 Options de gestion

Afin d'éliminer les carcasses animales, plusieurs options étaient possibles :

- L'enfouissement à la ferme : Ce fut la disposition majeure en 1967. Elle a été limitée en 2001 afin de préserver les nappes phréatiques. Il est alors devenu nécessaire de réaliser une évaluation de risques sur le site avant l'enfouissement.
- Le bûcher à la ferme : Comme pour l'enfouissement à la ferme, cette mesure a été largement utilisée en 1967 mais a nécessité une autorisation en 2001.

- L'équarrissage : Pendant l'épidémie, six usines d'équarrissage ont été sollicitées. La capacité hebdomadaire de toutes ces usines d'équarrissage est de 15 000 tonnes de carcasses.
- L'incinération à haute température: Cette technique d'élimination n'est pas assez rentable car la capacité n'est que de 1 tonne de carcasses par heure. De plus, les fours ne sont pas assez larges pour accueillir une carcasse de bovin entier !
- Les bûchers communs : Les carcasses de plusieurs exploitations sont placées dans la même fosse et incinérées.
- L'enfouissement en fosses communes : Cette option est la nouveauté de crise de la fièvre aphteuse en 2001. Elle a été mise en œuvre pour palier au pic de mortalité lorsque les autres alternatives étaient saturées.

L'évaluation de risques a été conduite pour chaque site en vue d'accorder une éventuelle autorisation. Sept sites ont ainsi été proposés pour l'enfouissement::

- Ash Moor, Devon, England
- Great Orton, Cumbria, England
- Birkshaw Forest, Lockerbie, Scotland
- Throckmorton, Worcestershire, England
- Sennybridge (Eppynt), Powys, Wales
- Widdrington, Northumberland, England
- Tow Law, County Durham, England.

Il faut cependant rappeler que la technique d'enfouissement en fosses communes est particulière : il s'agit d'un enfouissement dans des poches imperméables, avec récupération des lixiviats. Cette technique s'apparente donc à celle utilisée en décharge. La différence réside dans le fait que ces sites ont été créés spécialement dans le but de recevoir des cadavres d'animaux afin d'enrayer au plus vite l'épidémie.

- Les décharges officielles : Les décharges auraient pu absorber toutes les carcasses de l'épidémie. Mais le problème lié à la résistance du prion de l'ESB a orienté les pratiques vers une élimination préférentiellement en équarrissage ou incinération pour les bovins nés avant le 1<sup>er</sup> août 1996. De plus cette pratique est mal perçue de l'opinion publique.

Une hiérarchie des techniques a été mise en place afin d'en décider la mise en œuvre. Les critères pris en compte sont la protection de la santé publique, la protection de l'environnement tout en assurant un contrôle de la fièvre aphteuse.

Les techniques les plus adaptées sont l'équarrissage et l'incinération. Celles-ci ne pouvant pas absorber toutes les carcasses, les décharges officielles ont été classées meilleure technique, une fois les deux premières saturées.

Enfin, du fait des risques liés à l'ESB, et à la contamination potentielle des eaux souterraines, l'enfouissement (à la ferme et en fosses communes) était la solution de dernier recours.

Il faut cependant remarquer que l'épidémie n'aurait pas pu être maîtrisée sans cette alternative.

Les bûchers ont également été utilisés mais ont provoqués de vives réactions de la part du public et des scientifiques. L'opposition du public et les effets potentiels sur la santé des dioxines formées lors de la combustion ont conduit à l'utilisation ponctuelle de cette voie d'élimination.

Récapitulatif de la hiérarchisation des options :

**Equarrissage ? Incinération ? Décharges officielles ? Bûcher ? Enfouissement**

Il convient de prendre en compte certaines prescriptions pour des voies d'éliminations particulières.

**Tableau 5 : voie d'élimination selon l'espèce et l'âge de l'animal <sup>[3]</sup>**

<b>Méthode d'élimination</b>	<b>Animaux autorisés</b>
Equarrissage	Tous
Incinération	Tous
Décharges officielles	Moutons, porcs de tous les âges et bovins nés après le 1 <sup>er</sup> août 1996
Bûchers	Tous (limite de 1000 bovins par bûcher)
Enfouissement	Moutons, cochons de tous les âges et bovins nés après le 1 <sup>er</sup> août 1996

### 1.2.5 Décryptage de la crise

Le nombre de nouveaux cas a connu un pic pendant les mois de mars et avril (Annexe 1). On distingue ainsi plusieurs périodes dans cette épidémie qui ont conditionné le mode d'élimination des cadavres.

A) Première période de l'épidémie : 20 février 2001 / 20 mars 2001

L'élimination s'est faite essentiellement par bûchers et enfouissement à la ferme.

En mars, l'épidémie a augmenté de façon exponentielle et les possibilités d'élimination ont rapidement été saturées. Afin de palier à cette saturation, des recherches ont été menées pour trouver des sites propices à l'enfouissement avec des propriétés géologiques satisfaisantes. Ainsi, des sites d'enfouissement en fosses communes susceptibles d'accueillir 69000 tonnes de carcasses ont été ouverts.

B) Deuxième période : 20 mars 2001/ 20 avril 2001

Le pic de l'épidémie est apparu dans cette période. A ce moment, le nombre de cas par jour est passé de 20 à un maximum de 50, puis a diminué (au pic de l'épidémie : 10000 tonnes de carcasses à éliminer par jour). Toutes les solutions potentielles d'élimination de carcasse ont donc été utilisées. Pendant cette période, l'enfouissement en fosses

communes a été un tournant décisif dans la gestion de l'épidémie. L'utilisation de ce mode d'élimination a permis de respecter la loi « 24h/48h éliminé » (élimination sous 24 heures des animaux d'un foyer d'infection, et sous 48 heures pour les animaux contigus au foyer).

Le 31 mars, une contrainte supplémentaire a interdit l'enfouissement des bovins de plus de 5 ans à cause du risque d'ESB.

### C) Troisième période : 20 avril / 30 septembre 2001

L'image d'un pays en feu dans l'opinion publique en Angleterre et à l'étranger a entraîné l'arrêt des bûchers le 7 mai. L'enfouissement a lui aussi été limité suite à des prescriptions concernant les risques liés à l'ESB, et aux difficultés de plus en plus importantes pour obtenir les autorisations.

De plus, le nombre de cas commençant à diminuer, il était difficile de laisser ouverts les sites d'enfouissements en fosses communes. En effet, cette technique fonctionne bien lorsque les fosses sont rapidement remplies puis recouvertes ; par contre, lorsque l'approvisionnement est réduit à 1 ou 2 chargements par jour, leur fonctionnement est perturbé. Dans le même temps, les effets sur l'environnement des fosses communes (production de lixiviats, mauvaises odeurs) ont commencé à être remarqués et ont été amplifiés par un temps plus chaud.

L'équarrissage est donc devenu la voie d'élimination principale pendant cette période. Mais la localisation géographique des usines d'équarrissage et les pics d'épidémie subséquents ont conduit au maintien de quelques sites d'enfouissement en fosses communes et de décharges officielles.

La fermeture du dernier site d'enfouissement massif a eu lieu le 14 octobre 2001.

Un site d'enfouissement a été fermé prématurément (site de Welsh à Eppynt : ouvert le 5 avril, fermé le 15, les carcasses ont été exhumées à la suite du constat d'un problème de contamination des eaux souterraines).

L'annexe 1 représente la part de chaque voie d'élimination pendant la crise.

Pendant cette épidémie, 96 000 tonnes, soit 15%, de carcasses sont éliminées dans les décharges officielles. Les décharges auraient pu absorber la totalité des carcasses à éliminer mais l'opposition du public local a limité l'utilisation de cette voie d'élimination.

Au total, environ 1,3 million de carcasses ont été enfouies dans les sites d'enfouissement massif, ce qui représente environ 20% des carcasses à éliminer.

## 1.2.6 Retour d'expérience sur la gestion des lixiviats d'un site d'enfouissement massif en Ecosse

437 116 animaux ont été enfouis sur ce site (ovins principalement).<sup>[4]</sup>

Des systèmes de récupération des lixiviats ont été mis en œuvre. Les lixiviats ainsi récupérés sont a priori chargés en agent de la fièvre aphteuse car la survie de ce virus est d'environ 180 jours dans carcasse.

Le virus de la fièvre aphteuse est normalement inactivé pour des pH inférieurs à 6 ou supérieurs à 12,5.

La période de raideur cadavérique (rigor mortis) s'accompagne de la glycolyse qui produit de l'acide lactique, entraînant la diminution du pH des organes internes, des tissus et des muscles à un pH inférieur à 6, qui inactiverait donc le virus.

Ce processus commence 18 heures après la mort et atteint son activité maximale 48 à 72 heures après.

Cependant, en Ecosse, l'infiltration des eaux de pluie a entraîné la compensation de cette baisse de pH, permettant ainsi au virus de survivre. La figure 2 montre que le pH des lixiviats est resté au dessus de 6, ce qui met en évidence la nécessité de désinfecter les lixiviats.

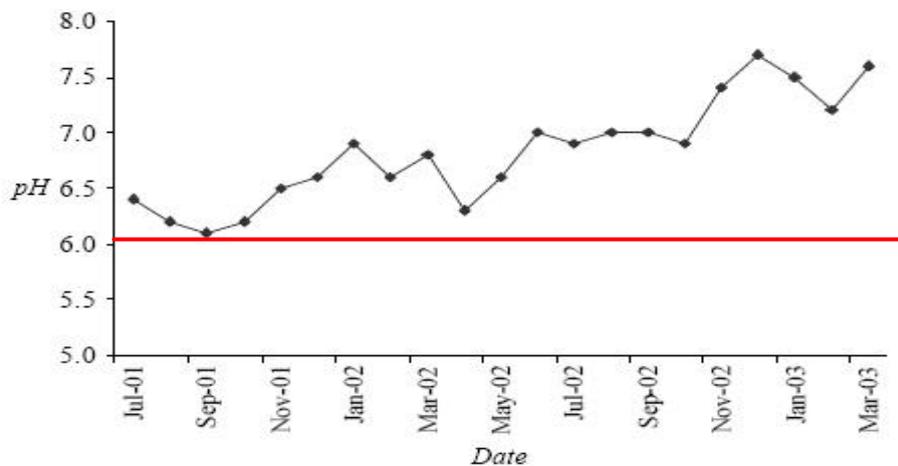


Figure 2 : Evolution du pH des lixiviats de juillet 2001 à mars 2003<sup>[4]</sup>

Plusieurs procédés de désinfection sont possibles :

- Augmentation de la température : coût élevé,
- Filtration sur membrane de 20 nm : teneur élevée en matières organiques et MES, le système n'est donc pas adapté,
- Utilisation de désinfectants : coût élevé,
- Addition d'acide ou de base : La solution ici envisagée a été l'addition de pastilles de soude car c'est la méthode la plus simple à mettre en œuvre sur site.

La gestion des lixiviats n'est donc pas simple. Il est important de prévoir leur décontamination avant leur rejet dans l'environnement car ils concentrent les agents pathogènes et présentent des teneurs élevées en composés chimiques.

### **1.2.7 Bilan sanitaire**

Il n'y a pas eu d'impact constaté sur la santé publique ou sur l'environnement. En effet,

- aucune preuve de transmission du virus de la fièvre aphteuse à l'homme n'a été démontrée,
- aucun cas de gastro-entérite lié à l'enfouissement de cadavres d'animaux n'a été détecté,
- aucun effet des bûchers sur les consultations pour asthme ou difficultés respiratoires n'a été répertorié.

## **1.3 Canada**

Au Canada<sup>[5]</sup>, selon le Dead Animal Disposal Act, obligation est faite d'éliminer les carcasses d'animaux morts de moins de 25 kg dans un délais de 48 heures en utilisant l'une des 3 manières suivantes :

- ramassage officiel d'animaux morts,
- compostage,
- enfouissement à une profondeur minimale de 0,6 mètre dans le sol.

Pour les volailles, l'équarrissage des carcasses n'est pas très rentable, il est donc difficile de négocier le ramassage gratuit et l'enfouissement est une alternative.

### **1.3.1 Choix du site d'enfouissement**

A) Contamination de la nappe phréatique :

Ce type de contamination est fonction du type de sol, de la profondeur du substratum, et de la profondeur de la nappe phréatique.

Les sols grossiers entraînent une contamination de la nappe car ils engendrent des transferts rapides des composés du site d'enfouissement avec peu de filtration et de traitement.

Les fractures dans le substratum entraînent également des transferts rapides.

La zone située entre le toit de la nappe et le sol est très efficace pour détruire les polluants biologiques. Cette zone est peu épaisse lorsque le toit de la nappe est haut. Une table de classement des sites a été construite afin d'évaluer le potentiel de contamination d'un site :

**Tableau 6 : Evaluation du niveau de contamination potentielle de la nappe selon le type de terrain<sup>[5]</sup>**

Type de sol (drainage naturel)	Profondeur de la nappe			
	< 1 m	1 – 5 m	5 – 15 m	> 15 m
Sustratum d'1 mètre d'épaisseur	1	1	1	1
Fumier	1	–	–	–
Sable (rapide)	1	1	1	2
Sable + limons (modéré)	1	1	2	3
Argile + limons (lent)	1	2	3	4
Argile (très lent)	1	3	4	4

Avec : 1 : élevé – 2 : modéré – 3 : faible – 4 : très faible

#### B) Contamination des eaux de surface

Ce type de contamination est fonction de la topographie et du type de sol

Les terrains en pente sont plus problématiques que les terrains plats car ils entraînent un ruissellement rapide des eaux lors de précipitations importantes.

Les sols de type argileux posent plus de problèmes que les sols moins denses comme le sable. Ainsi, les conditions qui limitent la contamination des eaux souterraines (faible granulométrie, sol lourd comme l'argile) sont celles qui favorisent le ruissellement, et qui contribuent donc à la pollution des eaux de surface. Ce paradoxe complexifie donc le choix du site.

Afin de s'assurer de l'aptitude du site à l'enfouissement, il est nécessaire d'effectuer des puits tests, au début du printemps, période des hautes eaux pour une nappe.

Au Canada, il est impossible de réaliser des enfouissements en hiver car le sol est gelé de décembre à mars.

Le taux d'enfouissement et la distance entre le site et les puits dépendent du potentiel de contamination de nappe phréatique du site comme le montre le tableau suivant :

**Tableau 7 : Masse maximale de carcasses à enfouir et distance au forage en fonction du potentiel de contamination de la nappe<sup>[5]</sup>**

Potentiel de contamination de la nappe phréatique pour le site considéré	Masse maximale de carcasses enfouies par hectare et par an	Distance au forage
1 : élevé	0 kg	100 m
2 : modéré	1 000 kg	75 m
3 : faible	3 000 kg	50 m
4 : très faible	5 000 kg	30

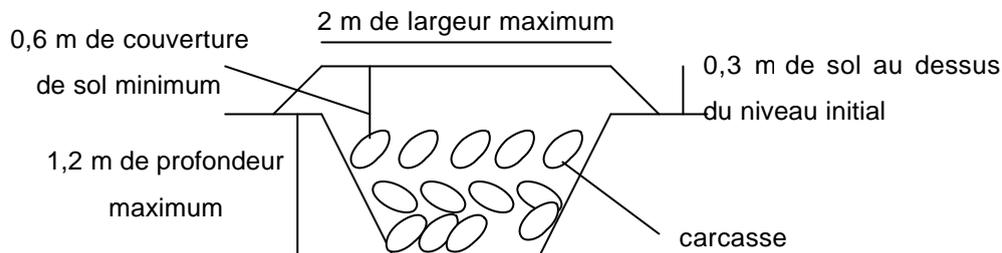
Un site d'enfouissement ne peut être utilisé que tous les 10 ans.

Il est recommandé de réaliser plusieurs sites d'enfouissement de petite taille plutôt que des sites moins nombreux mais plus grands contenant une quantité de carcasses importante. Ainsi, la masse maximale de carcasses recommandée est de 500 kg par site, et un espacement de 15 mètres entre chaque fosse.

### 1.3.2 Types de fosses

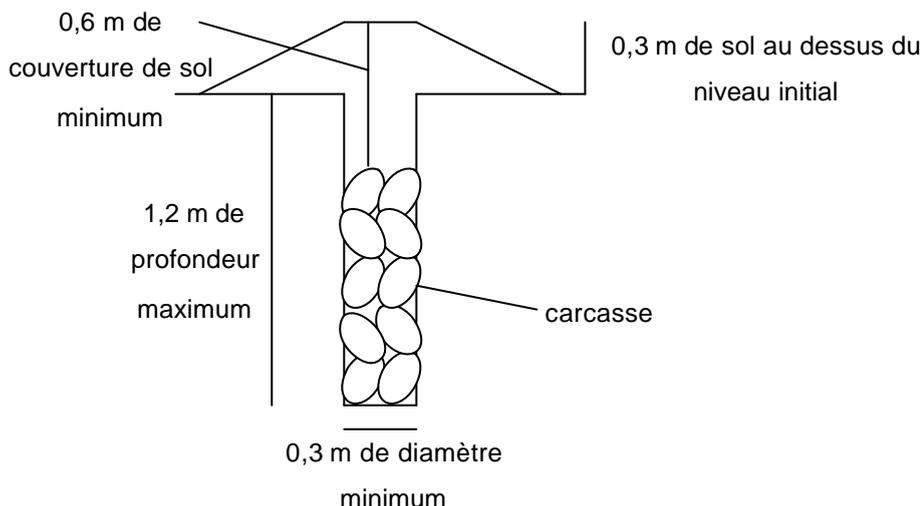
Deux types de fosses peuvent être creusés selon la masse de carcasses animale attendue. Des recommandations sont données sur le dimensionnement de la fosse.

- un grand trou pour des quantités de carcasses supérieures à 500 kg.



**Figure 3 : schéma en coupe d'une fosse pouvant contenir au minimum 500 kg de carcasses<sup>[5]</sup>**

- un puits pour des quantités de carcasses supérieures à 50 kg.



**Figure 4 : Schéma en coupe d'un puits pouvant contenir au minimum 50 kg de carcasses<sup>[5]</sup>**

Une bonne identification du site doit être faite et doivent donc être notés :

- la localisation précise par rapport à des points fixes,
- la date de l'enfouissement,
- le type et la taille des animaux enfouis,
- la raison de la mort,
- une approximation du poids total enfoui.

### 1.4 Bilan des pratiques à l'étranger

Le terme d'enfouissement tel qu'il est entendu en France ne s'applique finalement qu'à l'enfouissement à la ferme dans des tranchées. Les deux autres types d'élimination étant relativement semblables : il s'agit du principe de la décharge. Dans le cas des décharges officielles, les caissons sont déjà existants avant la crise alors que dans le cas de

l'enfouissement en fosses communes, les caissons sont aménagés lorsque la crise se déclare. Dans les deux cas, il est nécessaire de prévoir un dispositif de gestion des lixiviats et des gaz qui s'échappent des caissons, ce qui représente un coût important. La décomposition des carcasses dans les caissons étanches est lente.

On constate qu'aux Etats Unis et en Grande Bretagne, la gestion des carcasses par enfouissement direct dans le sol naturel n'est pas très utilisée en cas d'épizootie. De plus, bien que l'enfouissement à la ferme fût très utilisé, les épidémies les plus récentes ont été gérées par des enfouissements de type mise en décharge ou enfouissement en fosses communes. L'évolution de la tendance semble donc aller au détriment de l'enfouissement direct dans le sol dans ces deux pays, mais plutôt vers un confinement de la pollution et une gestion des sous produits formés (lixiviats, gaz).

Au Canada, nous n'avons pas réussi à trouver d'exemple d'épizootie, donc aucun retour d'expérience n'a pu être donné. Les autorités (Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs) ont produit un document présentant les bonnes pratiques pour un enfouissement de volailles. Le sol préconisé est de type argileux afin de limiter au maximum les transferts à la nappe. C'est ici un confinement naturel dans un milieu étanche qui est donc recherché.

Cette revue des pratiques à l'étranger montre que l'enfouissement directement dans le sol de carcasses animales est peu employé. Contrairement aux pays anglo-saxon, il n'existe pas en France de décharges acceptant les cadavres animaux. La partie suivante s'attachera à faire un état de l'art des pratiques d'enfouissement en France.

## **2 Etat de l'art des pratiques d'enfouissement en France**

### **2.1 La réglementation en vigueur**

Les règlements relatifs à l'enfouissement des carcasses animales sont fixés par le code rural, partie législative : articles L226-1 à L226-8, partie réglementaire articles R223-5 et R223-104<sup>[23]</sup>.

En France, en règle générale, l'enfouissement de carcasses animales est interdit. Il peut être autorisé en cas d'urgence par arrêté municipal ou préfectoral. En cas d'épizootie, c'est le ministre de l'agriculture qui fixe les modalités d'élimination des cadavres d'animaux.

L'article R223-5 du code rural, fixe les éléments nécessaires aux sites d'enfouissement :

« Un terrain situé à une distance d'au moins cent mètres des habitations et des cours d'eau et entouré d'une clôture suffisante pour en défendre l'accès aux animaux, peut être réservé pour l'enfouissement. L'entrée de ce terrain est interdite à toutes personnes autres que celles à qui la garde en sera confiée ou qui procéderont aux opérations de

l'enfouissement. Aucune récolte de fourrages ne pourra y être effectuée, les herbes poussant sur ce terrain seront brûlées sur place ».

Il n'existe pas de document de cadrage réglementaire des pratiques d'enfouissement.

## **2.2 Cahier des charges communément admis pour la réalisation d'enfouissements**

Certains départements ont mis en place des cahiers des charges pour faciliter la réalisation des enfouissements et en garantir la sécurité sanitaire. Les prescriptions suivantes sont communément admises pour le choix des sites d'enfouissement<sup>[6]</sup>.

Afin de guider le choix d'un site, la délimitation des zones d'enfouissement est effectuée à partir de deux classes de critères connus et sélectionnés concernant :

- le contexte naturel du site (géologie, hydrogéologie),
- l'environnement du site (naturel et activités humaines).

Dans certains départements, il existe un zonage cartographique définissant trois zones :

- zone 1 : enfouissement possible : zone favorable,
- zone 2 : il existe des sites où l'enfouissement est possible mais une étude de cas est nécessaire : zones conditionnelle,
- zone 3 : enfouissement impossible.

En premier lieu, il convient de consulter ce zonage cartographique. Puis, les zones favorables ou conditionnelles doivent faire l'objet d'une étude plus approfondie afin de prendre les meilleures dispositions pour le choix du site. Si l'exploitation infectée se trouve en zone 3, aucun site d'enfouissement ne peut être envisagé, et il faut chercher un site en zone 1 ou 2. Un hydrogéologue doit être consulté avant toute décision définitive du site d'enfouissement.

### **2.2.1 Contexte naturel**

#### **A) Les critères géologiques et pédologiques**

Il s'agit d'éviter l'éventuelle contamination des aquifères situés en dessous de la fosse. Les sites géologiquement favorables sont ceux qui offrent une moindre perméabilité. Les fractures, les failles, les discontinuités lithologiques constituent des éléments de propagation éventuels d'une pollution en provenance d'une fosse d'enfouissement. Il faut donc placer la fosse d'enfouissement de telle façon qu'un effluent ne puisse pas atteindre l'un de ces éléments connus et repérés. Les positions relatives de la fosse d'enfouissement et d'une discontinuité régissent la possibilité d'implanter ou non cette fosse. Les discontinuités à prendre en compte sont celles figurées sur une carte géologique ou décelables par photos aériennes ou sur le terrain.

Les sols déclarés aptes à l'enfouissement doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- Une nature essentiellement limono-argileuse ou loessique, correspondant à des sols fins, homogènes et facilement compactables.
- Un caractère hydromorphe faible : les sols hydromorphes sont a priori défavorables à l'implantation de fosses d'enfouissement.
- Un aspect non caillouteux
- Reposant sur un substrat argileux, c'est à dire constitué par des schistes altérés, des pélites rouges du Permien, ou bien des argiles du secondaire, du quaternaire.
- Si la nature des formations est propice à l'enfouissement, il convient de considérer également l'épaisseur de ces formations. La profondeur minimale recommandée pour le creusement étant de 4 mètres, et comportant au moins 1 mètre de recouvrement, les formations dont l'épaisseur est supérieure à 4 mètres sont propices à l'enfouissement. Si cette épaisseur n'est pas respectée mais que le substratum situé en dessous convient, la contrainte est exclue.

## B) Les critères hydrogéologiques

### a) *Niveau de nappe*

La profondeur du toit de la nappe correspond à l'épaisseur de la zone non saturée. Il faut bien s'assurer que la nappe, en remontant au cours de la période de hautes eaux, n'atteigne pas la fosse d'enfouissement. Il faut donc se placer aux endroits où la nappe phréatique est profonde soit au delà de 4 mètres en période de hautes eaux. Le fond des fosses se situera toujours à au moins 1 mètre au dessus de la première nappe. Il faudra prendre en compte le plus haut niveau enregistré au cours des variations saisonnières.

### b) *Problème des milieux karstiques*

L'existence d'un karst à proximité d'une zone d'enfouissement constitue un grand risque de pollution pour l'environnement avec une diffusion rapide et lointaine par le réseau karstique. Le repérage des phénomènes karstiques (localisés sur cartes géologiques ou visibles en surface : présence de dolines ou de bétoirs) est donc primordial.

### c) *Autres paramètres*

D'autres paramètres peuvent concourir à l'évaluation de l'aptitude d'un site à l'implantation d'une fosse, mais ils sont rarement connus. On peut citer :

- la vitesse de diffusion (vitesse microscopique réelle à travers la zone saturée)
- la vitesse de déplacement réelle dans l'aquifère
- la vitesse du front d'humidification en zone non saturée
- la transmission au sein de l'aquifère
- la valeur du gradient hydraulique à proximité du site potentiel.

La valeur de chacun de ces paramètres peut être comparée à la plage de valeurs dites « moyennes ». Des valeurs faibles de ces paramètres concourent à l'accréditation du site contrairement à des valeurs élevées qui rendent compte de transferts rapides en zone non saturée comme en milieu aquifère. De telles valeurs correspondent en effet à la dispersion rapide de pollutions éventuelles provenant de fosses d'enfouissement.

### **2.2.2 Les critères liés à l'environnement du site**

Le site ne doit pas présenter de difficultés d'accès et de creusement. Par exemple, les zones boisées ne sont pas à évincer a priori car c'est un milieu biologiquement actif, donc propice à la dégradation rapide de la matière organique. Elles risquent cependant de présenter des difficultés à cause d'un sol en général caillouteux, des racines des arbres. D'autres critères sont pris en compte dans le choix du site d'enfouissement : topographie, géographie, hydrographie et servitudes environnementales liées à l'activité humaine (captage d'eau potable, etc,..) cf. ANNEXE 2

### **2.2.3 Gestion des opérations**

La gestion des fosses d'enfouissement prescrite par les différents documents de recommandation actuels est la suivante :

#### **A) Aménagement de la fosse**

Les fosses en forme de tranchée permettent un remplissage aisé car elles sont étroites et permettent de déposer facilement les cadavres au centre.

A titre indicatif, une tranchée de 12 mètres de long sur 3 mètres de large et 4 mètres de profondeur permet l'enfouissement de 40 bovins.

Dès que le site est choisi, il est important de le mettre en relation avec les conditions du milieu. Si on dispose d'un sol profond (au moins 2m) et limono-argileux à perméabilité réduite ( $10^{-9}$  à  $10^{-6}$  m/s), le fond de la fosse sera simplement compacté avant l'enfouissement des cadavres. C'est le cas idéal.

Si le sol n'est pas suffisamment homogène (présence de niveaux sableux, caillouteux), sa partie supérieure peut être rendue homogène et suffisamment homogène par l'apport de matériaux argileux.

En effet, il est parfois nécessaire d'ajouter une couche d'argile sur certaine partie de la fosse : par exemple si le substratum est une craie fissurée (ou un terrain jugé trop filtrant), la fosse peut alors être tapissée avec des argiles pour ralentir l'infiltration des effluents issus de la fosse. Si l'on craint une infiltration verticale trop importante, on peut protéger la fosse par un chapeau d'argile ; ou bien si la pente naturelle entraîne des pollutions vers l'aval car les écoulements viennent baigner la fosse, il est alors possible de placer en amont de la fosse un écran imperméable, qui déviara la circulation et assèchera la fosse.

Afin d'abaisser la perméabilité initiale du sol, on peut utiliser de la bentonite de sodium. C'est une argile de type montmorillonite qui possède un pouvoir de gonflement à l'eau représentant dix à vingt fois son volume sec. L'efficacité à long terme n'est pas garantie mais cette solution peut être envisagée dans la mesure où une garantie de quelques années suffit.

Lorsque le site ne répond pas aux critères exposés, on pourra creuser une fosse qui sera rendue étanche par la pose d'une géomembrane d'étanchéité. La couche de terrain qui servira de support ne doit présenter aucun aspect caillouteux et sa perméabilité doit être maximale ( $10^{-9}$  m/s). Les géomembranes d'étanchéité, selon leur nature sont plus ou moins perméables, altérables, résistantes au vieillissement. Leur garantie pérenne n'est pas nécessaire puisque les cadavres disparaissent au fil du temps. Une garantie de quelques années est donc suffisante.

#### B) Remplissage

Les cadavres sont enfouis entre deux couches de chaux vive. La quantité de chaux préconisée est égale au dixième du poids des cadavres.

L'apport d'un matériau drainant et l'installation d'un regard et d'un pompage en surface sont nécessaires si le remblai au dessus de la fosse n'est pas suffisamment épais (1,50 à 3 m). Ce remblai doit être construit sous forme trapézoïdale de façon à ce que les eaux ruissellent au maximum.

Les cadavres, aspergés de soude caustique et éventrés, sont transportés par les engins de l'entreprise de terrassement. Ils ne sont en aucun cas traînés sur le sol. Ils sont ensuite empilés dans la fosse jusqu'à un niveau de 1 mètre au dessus de la surface du sol et recouverts d'une couche de chaux vive. La fosse sera laissée ouverte pendant 24 heures et refermée par une couche de remblai d'environ 2 mètres d'épaisseur.

L'ensemble du site est ensuite aspergé de soude caustique.

#### C) Utilisation des sols après l'enfouissement

L'accès au site est condamné par un panneau d'interdiction ou bien par une surveillance qui durera plusieurs mois. Ceci s'applique aussi bien aux personnes qu'aux animaux. Le terrain ne pourra être cultivé qu'au terme de 6 mois, et il faut attendre 9 mois pour faire paître des animaux. Cependant, ces délais doivent être ajustés en fonction du contexte de la situation.

Aucune construction nécessitant des fondations n'est envisageable dans un délai de 5 ans, pour les terrains les plus favorables.

Aucune excavation n'est envisageable.

Les prescriptions techniques pour l'enfouissement de carcasses animales en Ille-et-Vilaine sont présentées en annexe 3.

## 2.2.4 Critiques des cahiers des charges en vigueur

On constate que les sites d'enfouissement décrits dans ce cahier des charges sont de type argileux, ce qui implique un confinement des carcasses, et ne permettent pas la dégradation naturelle dans le sol. En effet, il est ici préconisé de choisir un type de sol le plus imperméable, et éventuellement, d'apporter un tissu imperméable, ou une couche d'argile compacte afin d'assurer l'étanchéité du site. Avec de telles préconisations, le sol ne peut pas pleinement jouer son rôle d'épurateur naturel.

De plus, des profondeurs minimales pour la fosse sont recommandées mais il convient d'ajuster ces valeurs au contexte géologique du terrain considéré.

L'analyse de différents exemples d'enfouissements en France permet d'évaluer la pertinence de ces prescriptions.

## 2.3 Cas pratiques

### 2.3.1 Suspicion de fièvre aphteuse dans le Loiret<sup>[7]</sup>

#### A) Contexte

Une épizootie de fièvre aphteuse s'est déclarée dans les cheptels ovins britanniques fin 2000. En France, tous les animaux suspectés d'être atteints par le virus devaient être abattus dans les plus brefs délais, afin d'enrayer la propagation de la maladie sur le sol français.

A Ruan, un éleveur de moutons avait complété son cheptel par des moutons en provenance de Grande-Bretagne en prévision de la fête de l'Aïd-el-Kébir. Par prévention, les 5000 animaux ont du être abattus. 450 carcasses supplémentaires (ovin, caprins, bovins et porcins), issus d'une ferme de la commune de Nibelle ont été ajoutés à la fosse pour la même raison.

5450 cadavres d'animaux ont donc été enfouis dans une même fosse sur la Commune de Trinay. (Carte en ANNEXE 4)

#### B) Les outils de gestion et d'aide à la décision.

Lors de cette situation d'urgence, deux documents ont permis une prise de décision rapide :

##### a) *Le plan départemental de lutte contre la fièvre aphteuse*

Ce document <sup>[8]</sup> anticipe une éventuelle épizootie de fièvre aphteuse et fixe les moyens de lutte contre la maladie dans chaque département. La gestion de la crise est pilotée par le préfet assisté du chef du service départemental vétérinaire. Dès que la maladie est suspectée, le directeur des services vétérinaires doit procéder sans délais à l'abattage du

cheptel dans lequel se trouve l'animal supposé malade. Le plan du Loiret prévoit ensuite l'enfouissement des carcasses des animaux abattus.

Ce type de disposition est important en cas d'urgence, car le rôle de tous les services de l'Etat est défini.

*b) La carte des zones d'aptitude à l'enfouissement de bétail infecté par la fièvre aphteuse du département du Loiret*

En 1995, en prévention d'une épizootie de fièvre aphteuse, le BRGM a procédé à un relevé des zones aptes à l'enfouissement de carcasses pour le département du Loiret. Ce document distingue trois types de zones :

- les zones aptes à l'enfouissement,
- les zones peu recommandées,
- les zones à proscrire.

Ces zones tiennent compte : de la nature des sols, des aquifères, des zones humides superficielles. Les captages d'eau potable ainsi que leur périmètre de protection sont répertoriés et classés en zones où l'enfouissement de carcasses est banni.

*C) Choix du site d'enfouissement*

Il s'agissait d'une situation d'urgence. L'abattage devait avoir lieu le 1<sup>er</sup> mars 2001. La Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) a été saisie le 28/02/2001 afin de définir un site d'enfouissement adéquat. Dans le même temps, l'éleveur de Ruan proposait à la Direction Départementale des Services Vétérinaires (DDSV) un de ses terrains pour réaliser l'enfouissement.

L'hydrogéologue agréé a donc été sollicité pour rédiger un avis sur la possibilité d'enfouir les carcasses. Les services vétérinaires ont, dans l'urgence, fait le choix du terrain. L'hydrogéologue a procédé à 13 sondages à la pelle mécanique pour s'assurer de la présence, en profondeur raisonnable de matériau peu perméable. Il s'agissait dans ce cas de marnes calcaires. Elles devaient assurer la protection de la nappe de Beauce sous-jacente. Le plan de lutte contre la fièvre aphteuse préconisait des fosses de 4 mètres de profondeur. Celle-ci a été ramenée à 3 mètres car il y avait un risque de mise à jour du substratum calcaire.

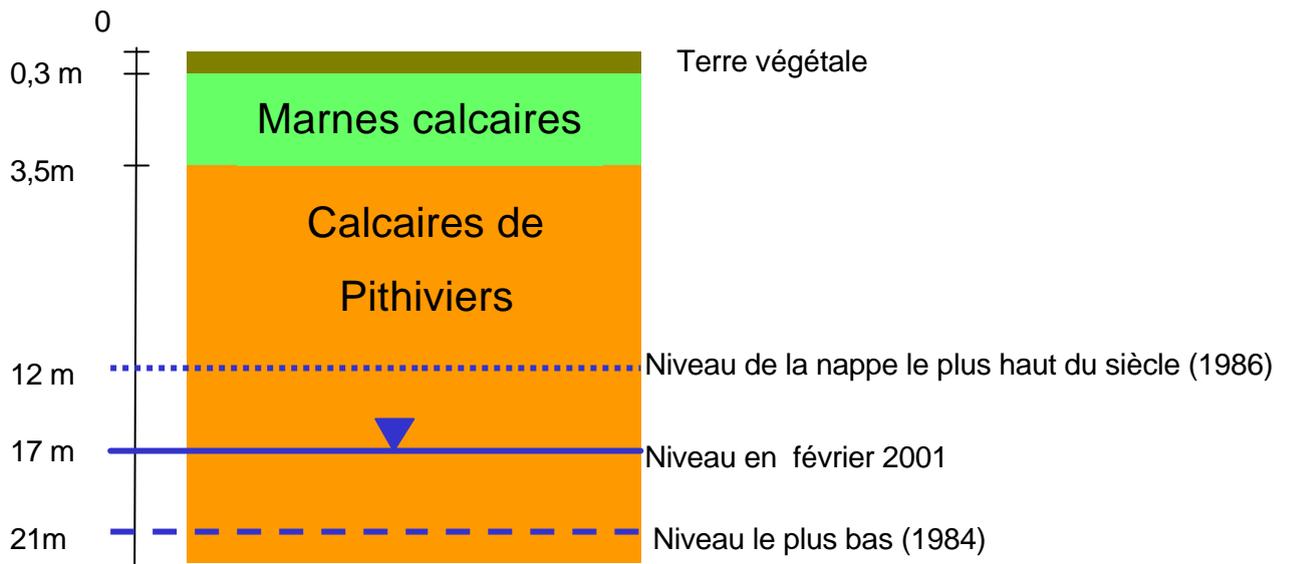


Figure 5 : Coupe schématique du sol

#### D) Préparation du site

Les moyens de travaux publics ont été réquisitionnés par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) auprès d'une entreprise locale. La fosse a été disposée sur le terrain en fonction des sondages de reconnaissance. Elle a pris une forme de T, profonde de 3 mètres sur 6 mètres de largeur. Cette disposition répond à l'exigence d'avoir une couche suffisante de marnes. La profondeur du substratum calcaire est variable sur le site comme l'ont montré les sondages.

Les parois et le fond de la fosse ont été tapissés 0,50 mètre de marnes compactées afin d'étanchéifier le dispositif. Ce procédé avait fait ses preuves sur le bassin de la sucrerie d'Artenay.

Le fond de la fosse est tapissé de chaux vive.

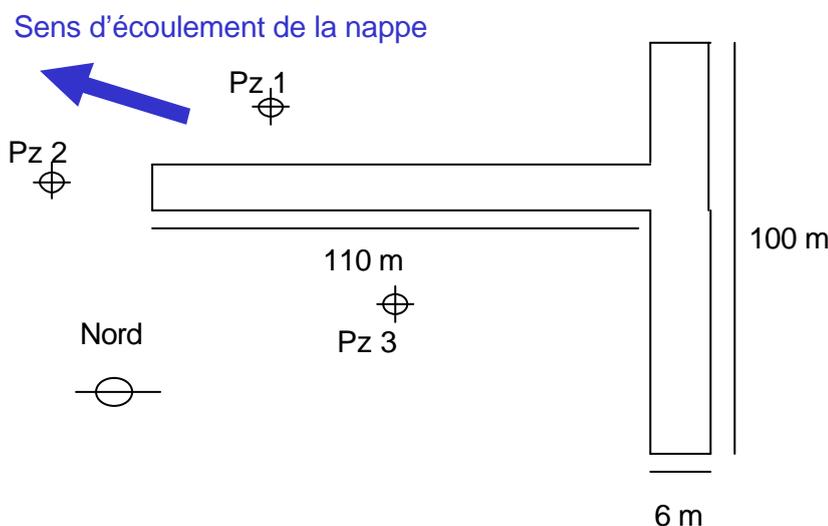


Figure 6 : Schéma de description de la fosse et vue d'ensemble

### E) Abattage et enfouissement

Les animaux ont été mis à mort par électronarcose. Les cadavres sont préalablement percés pour éviter leur gonflement. Les carcasses ont été recouvertes de chaux vive. Puis la fosse a été comblée par 1,50 mètres de marnes puis de terre végétale.

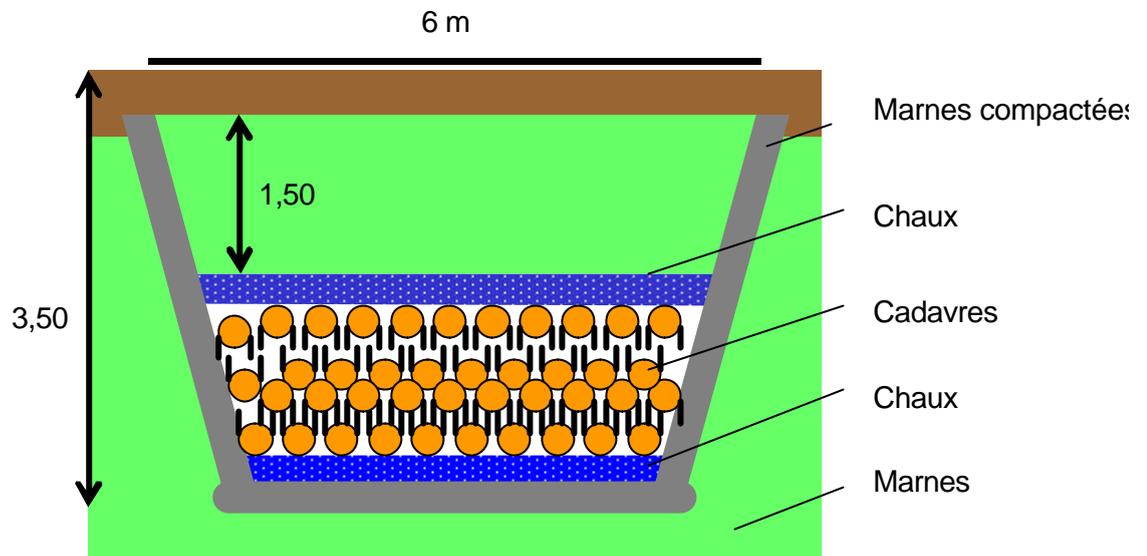


Figure 7 : Schéma en coupe du principe du remplissage de la fosse



Figure 8 : Photos du remplissage de la fosse dans la Loiret

### F) Suivi du site

Dans son avis, l'hydrogéologue a demandé à ce que le site soit suivi afin de contrôler la qualité de la nappe de Beauce à l'aplomb de la fosse. C'est ainsi que 3 piézomètres ont été mis en place et suivis pendant 18 mois.

Le danger que représentent les lixiviats de la zone d'enfouissement menace les usages de l'eau. La zone de Ruan, présente un captage d'eau potable mais en amont de la fosse. Il existe par ailleurs deux puits mais qui ne sont plus utilisés. L'exposition humaine à une éventuelle pollution issue des carcasses est donc très limitée. Par ailleurs les marnes compactées (porosité évaluée à  $10^{-9}$ ), disposées sur toutes les parois de la fosse permettent de réduire la source de danger. Le suivi de la qualité de l'eau à l'aplomb du

site d'enfouissement ne montre pas d'impact exagéré sur la nappe de Beauce (cf. ANNEXE 5). Les premières analyses débutées un mois après l'opération, montrent effectivement une augmentation du COT, des teneurs en nitrites et en ammonium. Cette tendance se résorbe rapidement, on peut considérer qu'au bout d'un an, l'impact de l'enfouissement sur la nappe est nul. Les faibles teneurs en nitrates mesurées en début de période sont erronées. La nappe de Beauce est très vulnérable aux pollutions superficielles, notamment à la fertilisation des sols. Les fortes teneurs en nitrates sont imputables aux activités agricoles.

Les concentrations en calcium ont été suivies par crainte de pollutions issues de la chaux utilisée dans la fosse. Les analyses montrent une teneur en calcium constamment élevée ce qui est à mettre en relation avec le substratum calcaire.

Du point de vue bactériologique, les analyses donnent les résultats suivants :

**Tableau 8 : Suivi des paramètres microbiologiques dans la nappe**

Date de prélèvement		Coliformes Totaux pour 100mL	Coliformes Thermotolérants pour 100mL	Streptocoques GR.D/100mL
05-avr-01	Piezo 1	2	2	2
	Piezo 2	2	2	2
	Piezo 3	2	1	2
09-mai-01	Piezo 1	0	0	0
	Piezo 2	0	0	0
	Piezo 3	2	0	0
05-juin-01	Piezo 1	0	0	0
	Piezo 2	0	0	0
	Piezo 3	0	0	0
11-juil-01	Piezo 1	0	0	0
	Piezo 2	0	0	0
	Piezo 3	0	0	0

L'impact bactériologique de l'enfouissement a été sensible pendant 3 mois. Ceci démontre la possibilité de survie de bactéries dans l'environnement mais sur une durée relativement courte. L'impact sanitaire est nul au vu des faibles teneurs en indicateurs de contamination fécale. Il faut tout de même noter que les eaux souterraines sont normalement dépourvues de ces germes. Par ailleurs, les germes témoin de contamination fécale ne témoignent pas de la présence de virus. Les concentrations observées au début du suivi peuvent aussi être liées à une infiltration de germes au niveau du piézomètre.

Le danger bactériologique immédiat, que représente l'éventuelle présence de l'agent pathogène ou de bactéries en surface du sol est annihilé par la pulvérisation de soude à 8‰ qui est un bon désinfectant.

Le faible impact de l'enfouissement sur la nappe peut s'expliquer par de fortes dilutions. En effet, la nappe de Beauce est très vaste et circule rapidement dans des calcaires très

poreux. Une autre explication est l'imperméabilisation des fosses par les marnes compactées qui a joué pleinement son rôle.

#### G) Bilan de l'opération

Avec le recul, les acteurs jugent que cette opération a été bien menée dans l'ensemble. L'enfouissement des carcasses n'a pas engendré de pollution majeure sur la nappe de Beauce ni de risque sanitaire particulier quant à l'utilisation de l'eau. Les acteurs de l'opération considèrent qu'une année après l'enfouissement, la situation initiale est rétablie du point de vue de la qualité de l'eau. Aucun impact en surface n'a été relevé. Toutefois, on peut se poser la question de la réelle dégradation des carcasses. De part le confinement, il est possible que les cadavres aient été conservés.

Le choix du site d'enfouissement a grandement été facilité par la cartographie des zones aptes. Toutefois, l'avis de l'hydrogéologue a été important, notamment dans la configuration de la fosse sur le terrain.

Cet enfouissement n'a pas suscité d'opposition particulière des riverains ou de l'opinion publique. La communication sur cet épisode de fièvre aphteuse a été bien menée.

Selon les services vétérinaires, le point noir de l'opération a été le transport des animaux de la ferme de Nibelle sur le lieu d'abattage de Ruan. Le transfert s'est fait de nuit dans des bétailières confinées. Cette prise de risque est justifiée par le fait que tous les moyens ont été déployés sur Ruan, ainsi, il n'était pas possible d'abattre et d'enfouir les carcasses d'animaux sur le site de Nibelle.

Les éleveurs ont été indemnisés. Le propriétaire du terrain où les cadavres ont été enterrés dédommagé pour l'immobilisation de ses terres agricoles..

Du point de vue financier, cette crise a conduit à répartir 718 480 € d'indemnisation, au total, le coût de l'ensemble des opérations et des indemnisations s'élève à 1 395 000 €

Sur cet abattage préventif, le poste le plus important a été le soutien psychologique aux éleveurs touchés.

Des analyses faites sur les cadavres de mouton, dont les résultats ont été communiqués 48 heures après la fin de l'opération, ont montré qu'aucun animal n'était contaminé par le virus de la fièvre aphteuse. La destruction de ces cheptels est une mesure de prévention de la propagation de l'épizootie.

### 2.3.2 Fièvre Catarrhale en Corse <sup>[9]</sup> - <sup>[10]</sup>

#### A) Contexte

La fièvre catarrhale du mouton, ou bluetongue, est une maladie virale transmise par des insectes hématophages, les culicoïdes (diptères ressemblant à des moustiques). Dans les régions tempérées où l'insecte piqueur ne survit pas en hiver, les premiers signes cliniques apparaissent à la fin de l'été. Ils affectent rapidement la plupart des bêtes, puis

s'éteignent à l'arrivée de l'hiver. Cette maladie transmissible, a un grand pouvoir de diffusion et est susceptible de s'étendre rapidement. Les symptômes sont des montées de fièvre, des écoulements nasaux et buccaux abondants, des fissurations de la peau, des œdèmes notamment au niveau de la langue pouvant lui donner un aspect violacé et des hémorragies sur les muqueuses évoluant en ulcérations.

Le département de la Corse du Sud a été frappé une première fois par une épidémie de fièvre catarrhale du mouton. Déclarée le 25/10/2000, l'épizootie a ensuite connu une période de répit pendant l'hiver avec la présence de températures basses qui ont inhibées le moucheron vecteur du virus. Une deuxième vague de recrudescence de la maladie a de nouveau touchée la Corse du Sud en juillet 2001.

La question de l'équarrissage ne s'est pas posée car il n'existe pas de service public d'équarrissage en Corse. Ainsi, lors de la première vague de l'épidémie, des sites d'enfouissement ont été identifiés dans l'urgence.

Le foyer principal de l'épidémie s'est trouvé dans l'extrême sud de la Corse où trois exploitations touchées ont été étudiées en automne 2000 pour y effectuer un site d'enfouissement sur place dans l'urgence.

#### B) Choix des terrains d'enfouissement

Pour la première période d'épidémie, il a été décidé d'enfouir les carcasses au sein des exploitations touchées :

##### a) *Exploitation Quilichini*

60 bêtes ont été enfouies au sein même de l'exploitation. Le site retenu pour l'enfouissement répond aux critères pour pratiquer l'enfouissement. Il se trouve dans un contexte calco-alcalin constitué de monzogranite à phénocristaux, caractérisé par l'absence de filons, d'hydromorphie et dépourvu de nappe superficielle.

Les dimensions de la tranchée réalisée sont de 5 mètres sur 5 mètres sur 2,5 mètres de profondeur. Son pourtour est signalé par une clôture (8 mètres sur 8 mètres sur 2 mètres de haut). Dans un rayon d'environ 300 mètres, tout captage est interdit pour l'Adduction en Eau Potable et ce, pour une période de 5 ans, si on considère une bonne décomposition des cadavres.

##### b) *Exploitation Lucchini*

L'enfouissement des 70 animaux a été réalisé sur place. Le choix du site s'est révélé complexe car il existe une forte densité de filons fracturés sur les terrains de l'exploitation. Un emplacement avec le moins de filons possible a été retenu. Le terrain se trouve dans un contexte géologique calco-alcalin avec une présence de granodiorite dont les fissures sont colmatées par de l'argile. Il n'y a pas de nappe superficielle.

c) *Exploitation Andreani*

Une première tentative de fouille a échoué car elle se trouvait sur une nappe superficielle. A cause de problèmes fonciers, le site finalement choisi se trouve seulement à quelques mètres en amont de la première tranchée. La nappe n'a pas été mise en évidence à ce niveau mais elle se trouve à proximité. Le terrain est constitué par une roche granitoïde de type monzogranite. Il existe une nappe superficielle à environ 2 mètres.

La tranchée de 4 mètres de long sur 3 mètres de large et 1,5 mètre de profondeur a permis d'enfouir les animaux. Le pourtour de la tranchée devait être signalé par une clôture (5 mètres sur 5 mètres sur 2 mètres de haut).

d) *Terrain militaire*

Un grand site d'enfouissement a également été réalisé en Corse du sud, il a été exploité en 2000 et 2001.

Un terrain militaire (propriété de l'Etat) a été choisi pour recevoir les cadavres générés par la présente épidémie et éventuellement d'autres cadavres si celle-ci se renouvelait ultérieurement (donc très grande capacité d'enfouissement). Ce site est très éloigné de toute habitation (distance > 500 m des premières habitations).

La zone se situe dans un contexte granitique calco-alcalin (granite leucocrate : granitoïdes à gros grains à phénocristaux de quartz et de feldspath). La colline au pied de laquelle se trouve les fosses est partiellement arénisée. Un filon de taille importante (une vingtaine de mètres de long) a été mis à jour lors d'un sondage à la pelle mécanique. Il n'existe pas de nappe superficielle. Aucune venue d'eau souterraine n'a été mise en évidence lors des sondages. Aucune trace d'hydromorphie n'a été décelée dans le granite. Seules les fissures du filon qui affleuraient ont été colmatées par de l'argile

En 2000, une première fosse de 3 mètres de large et 25 mètres de long sur 3 mètres de profondeur a été creusée. Vu l'ampleur de l'épidémie, il a ensuite été nécessaire de creuser, environ 1 mois après, une deuxième fosse de 2 mètres de large et 25 mètres de long sur 3 mètres de profondeur. En 2001, une troisième fosse a été creusée en amont des deux autres, ses caractéristiques sont les suivantes : 3 mètres de large et 20 mètres de long sur 3 mètres de profondeur.

e) *Site de Pedingolu*

Dans la région d'Ajaccio 2001.

Du point de vue géologique, le site correspond à un placage marin du Pliocène (1,5 ; 2 Ma) qui recouvre une partie de la plaine de la Gravona avec des phénomènes de colluvionnements sur les versants. L'environnement géologique est constitué de granites le plus souvent altérés. La vallée a été recouverte par les argiles du plaisancien (1,5 ; 2 Ma) qui surmontent le substratum granitoïde et plus précisément par des granodiorites et

monzogranites à gros grains (association calco-alkaline). Le substratum est fracturé, deux grandes familles de fractures sont visibles par photo interprétation.

Plusieurs sondages ont été réalisés dans cette zone suite à une étude menée pour l'implantation d'un Centre d'Enfouissement Technique de classe II.

Le site peut être comparé à une cuvette où l'on peut distinguer de haut en bas :

- Une couche superficielle de terre végétale ou de limon d'une épaisseur de 0,1 à 0,8 mètre.
- une couche d'arène argileuse comprise entre 1 et 6 mètres
- Et enfin, le substratum altéré à compact, sous forme d'arène mélangée à des blocs granitiques, ou le socle rocheux.

Il apparaît difficile de définir une répartition homogène verticale et horizontale de ces couches.

### C) Les recommandations formulées pour l'enfouissement des cadavres

#### a) Remplissage des fosses

Le fond des tranchées devait être tapissée, au préalable à tout enfouissement, d'une couche de chaux vive d'une épaisseur d'environ 15 centimètres. L'enfouissement devait se faire par couches successives, tel un mille feuilles, comprenant successivement une couche de cadavres puis de chaux vive (plus une couche de terre si le temps est important entre deux enfouissements).

Un pourcentage de chaux vive d'environ 30 % du poids de la bête était recommandé. Une couche de terre végétale ou de tuff d'une épaisseur minimum d'1 mètre devait constitué le couvercle de la fosse.

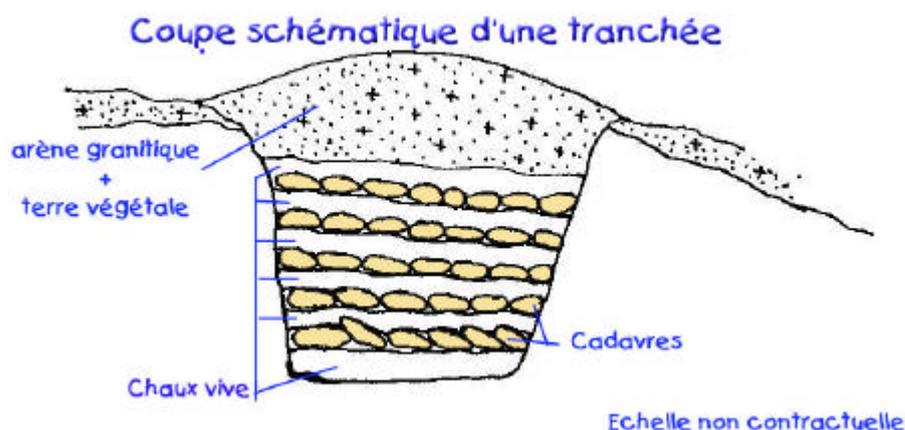


Figure 9 : Coupe d'une tranchée <sup>[9]</sup>

#### b) Comblement des fosses (pour l'enfouissement réalisé sur le terrain militaire)

Afin de palier à l'étanchéité naturelle défaillante du terrain in situ, des mesures de confinement ont été préconisées au cas par cas à la fermeture définitive des fosses de Marie BERTRAND, Jean-Marie QUEMENER, Anne-Marine ROBERT – Atelier Santé Environnement – 2006

sorte qu'aucune eau météoritique ne s'infiltré. Il devait être réalisé par la mise en œuvre d'une géomembrane après remplissage de la fosse avant comblement

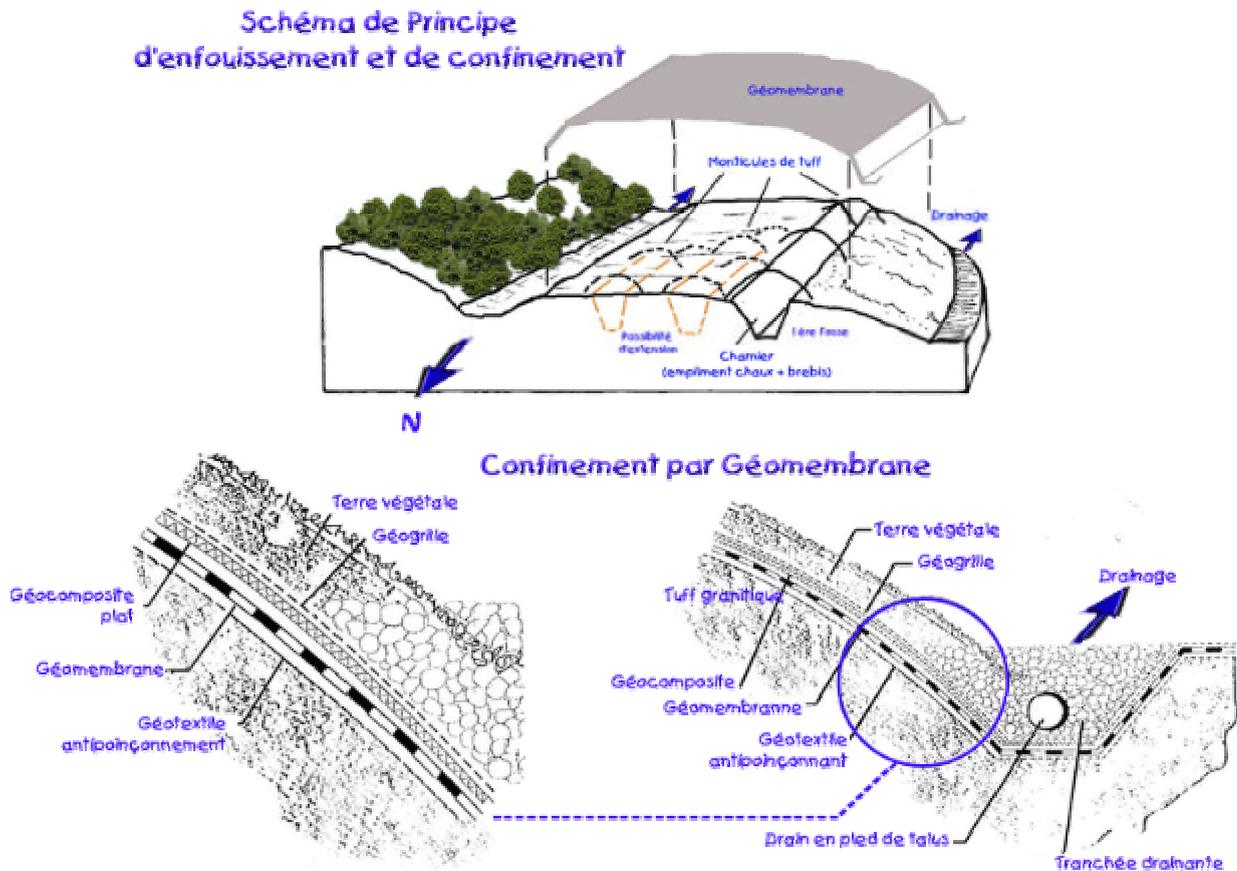


Figure 10 : Principe de confinement adopté en Corse [9]

Il avait été prévu d'harmoniser le profil à la topographie du terrain, de créer un profil en dôme et de réaliser un fossé en amont ceinturant le site pour éliminer les eaux de ruissellement. Une revégétalisation devait être réalisée après le confinement et un dispositif d'extraction des gaz pouvait être mis en place si nécessaire.

### c) Gestion du site après l'enfouissement

L'accès au site d'enfouissement a été interdit aussi bien aux personnes qu'aux animaux pendant une période qui devait être déterminée par les Services Vétérinaires ou Sanitaires. Le terrain devait être clos (à l'aide d'une clôture de 2 mètres de haut munie d'un portail) et un panneau devait interdire d'y pénétrer.

Dans un rayon d'environ 200 à 400 mètres selon les sites, tout captage est interdit pour l'Adduction en Eau Potable et ce pour une période de 5 à 10 ans selon les sites, si l'on considère une bonne décomposition des cadavres en respect des doses de chaux préconisées.

Si un projet touchant au sol venait à voir le jour sur le site d'enfouissement, il sera nécessaire de procéder à des études géophysiques ou géotechniques.

#### D) Bilan de la gestion des cadavres de la fièvre catharrale

Un état des lieux effectué sur tous les sites d'enfouissement durant l'été 2001 montre que les périmètres immédiats, matérialisant l'emplacement des fosses, n'ont pas été réalisés. Les commanditaires du projet ignorent si la quantité de chaux préconisée a bien été respectée et si les mesures de confinement recommandées ont été mises en oeuvre. De ce fait et à titre de précaution, il a été décidé d'interdire tout captage dans un rayon 300 à 400 mètres selon les sites d'enfouissement pour une période non pas de 5 ou 10 ans, mais d'au moins 10 ou 20 ans.

### 2.4 Exhumation d'une fosse d'enfouissement

Dans le cadre de ce travail sur les enfouissements, la DSV D'Ille-et-Vilaine a proposé l'exhumation d'un charnier afin d'évaluer l'impact de cette pratique. Une fosse d'enfouissement a donc été mise à jour, le 15/03/2006 sur la Commune d'Ilifaut (Côtes d'Armor).

#### A) Contexte de l'enfouissement

Cet enfouissement est une conséquence de l'épisode de canicule de l'été 2003 sur un élevage de dindes. 3 tonnes de volailles matures (10 kg de poids vif) ont été enfouies dans trois fosses (4m x 2m x 1,4 m). Le terrain appartient à l'éleveur. Il a été choisi pour l'enfouissement car il semblait le plus appropriée et permettait une certaine discrétion.

Les carcasses, déposées dans les fosses, ont été recouvertes d'une couche de chaux vive puis d'une bâche plastique.

La mortalité de volaille a été très importante dans les élevages à cette période. Dans ce contexte de crise, concomitant à une période de congé, l'éleveur n'a pu bénéficier de l'avis d'un hydrogéologue pour réaliser l'enfouissement.

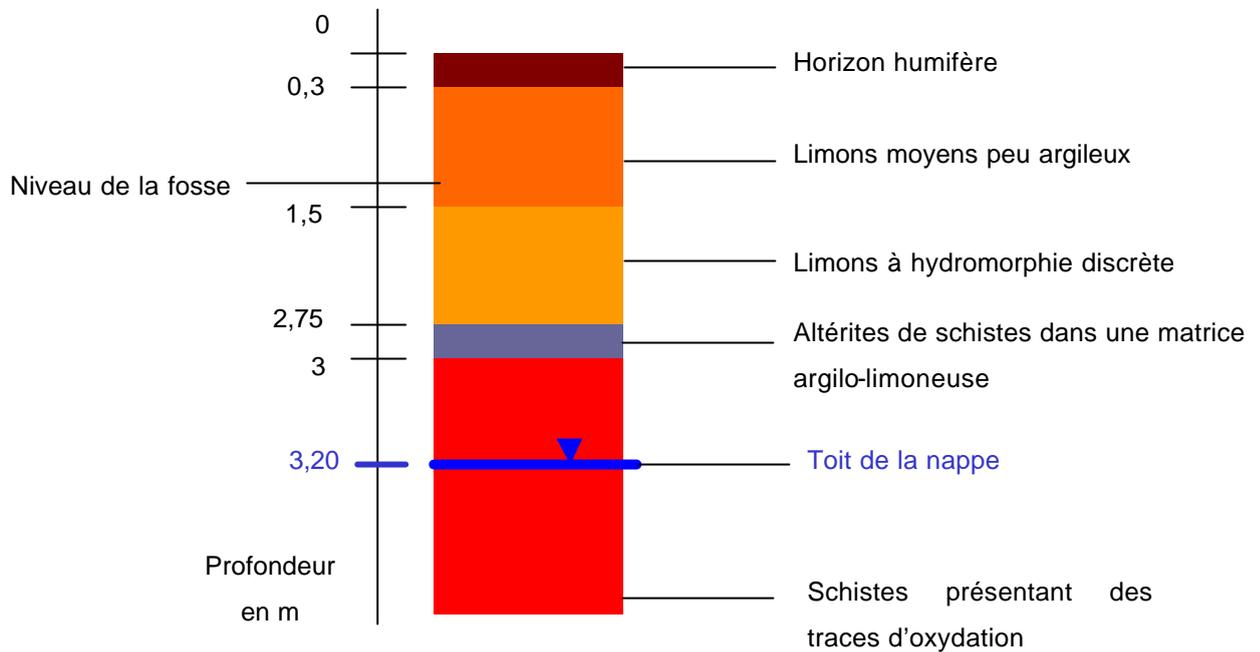


Emplacement d'une fosse

Figure 11 : Vue générale du site

## B) Caractéristiques du sol

Le schéma ci-dessous présente la nature des terrains rencontrés lors de l'exhumation des carcasses :



**Figure 12 : Coupe schématisée du sol**

Géologiquement, le site présente une couche de limons assise sur les schistes briovériens. Les limons constituent un sol très fin permettant des transferts d'eau rapides. Le sol apparaît oxydé sur toute la profondeur de la fouille, ce n'est donc pas une zone de battement de la nappe.

Lors de l'affouillement, les schistes ont été mis à jour à 2,75 mètres de profondeur et la nappe à 3,20 mètres. Les premières formes d'altérations des schistes rencontrées sont gris-bleus, ce qui témoigne d'un milieu réducteur pauvre en oxygène. La couche sous-jacente est rouge. Elle est caractéristique d'une zone mouillée par l'élévation de la nappe, qui sèche très lentement quand le toit de celle-ci redescend.

Vu les caractéristiques hydrogéologiques du terrain, ainsi que les facteurs climatiques depuis 2003, la fosse n'a pu être en contact direct avec la nappe. Par ailleurs, au vu de la topographie du site, le transfert des eaux de pluie se fait latéralement dans le sol plutôt que verticalement. La bâche plastique qui visait à limiter les apports d'eau météorique était donc superflue.



**Figure 13 : Vue de la fouille témoin**

**C) Mise à jour des carcasses**

Les carcasses ont été mises à jour à 1,4 mètres de profondeur. 3 ans après l'enfouissement elles ne sont que très partiellement décomposées. Les os sont apparus intacts. La forme des carcasses est encore visible, et l'on peut distinguer nettement des chairs ainsi que des plumes.

Le percement de la bâche plastique a libéré un jus nauséabond, baignant les carcasses et des congglomérats de chaux.



**Mise à jour des carcasses**



**Conglomérats de chaux**



**Os et plumes**



**Patte**

**Figure 14 : Photos de carcasses de dindes déterrées du site d'enfouissement d'Illifaut**

#### D) Analyse d'eau

Des prélèvements d'eau ont été réalisés lors de la mise à jour de la nappe, quelques mètres en amont d'une fosse d'enfouissement. Les paramètres de l'analyse sont : le pH, la conductivité, les chlorures (Cl), les nitrites (NO<sup>2-</sup>), les nitrates (NO<sup>3-</sup>), l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et l'oxydabilité. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau 9 : Résultats des analyses effectuées sur l'eau de nappe en amont de la fosse**

Paramètre	unité	Valeur mesurée
pH		5,6
Conductivité	μS/cm	521
Chlorures	mg/L	28
Nitrites	mg/L	0,05
Nitrates	mg/L	194,7
Ammonium	mg/L	0,17
Oxydabilité	mg/L d'O <sub>2</sub>	4,4

Bien que le prélèvement ait été réalisé légèrement en amont d'une fosse, on constate que les carcasses ont un impact sur la nappe. D'une part, l'ammonium et les nitrites sont des espèces normalement absentes des nappes d'eau souterraines. La seule explication possible de leur présence est un égouttage de la fosse. D'autre part, la teneur élevée en nitrates ne peut pas seulement être expliquée par les amendements de surfaces.

#### Bilan

Cette exhumation permet de tirer les conclusions suivantes :

- Le terrain choisi présente toutes les garanties de sécurité pour réaliser un enfouissement : absence de captage d'eau à proximité ; le sol est sain et sa nature n'entraîne pas a priori de confinement des carcasses ; et la profondeur de la fosse est telle que les carcasses n'ont pu être en contact avec la nappe.
- Les fosses ont un impact sur l'eau de la nappe 2 ans et demi après leur réalisation.
- Le lissage des limons au passage du godet de la pelleuse a pu créer un écran imperméable.
- La mise en place d'une bâche était superflue car elle ne protège pas les cadavres de transferts d'eau latéraux. Elle contribue à la création d'un milieu anoxique ralentissant la dégradation des carcasses.
- La chaux ne joue ici aucun rôle. En effet, il est manifeste qu'elle n'a pas aidé à la dégradation des chairs. La preuve en est qu'elle a été retrouvée pratiquement intacte. De plus, elle forme une gangue autour des carcasses qui est un obstacle à leur dégradation. Elle est connue pour accélérer la décomposition de la matière organique. Ceci est possible en mélange intime avec les chairs. Ici, l'action de la chaux ne se limite qu'à la surface des cadavres.

## 2.5 Bilan des pratiques françaises

En France l'enfouissement reste un moyen d'élimination des cadavres utilisé en dernier recours et souvent dans l'urgence. Ainsi, la mise en place de plans départementaux d'enfouissement ou la réalisation de cartographie des sols aptes à cette méthode peut être un moyen d'anticipation des situations d'urgence. En effet, dans le cas du Loiret, la cartographie des sols réalisée par le BRGM a facilité le choix du site d'enfouissement alors que dans le cas de la Corse tout s'est déroulé dans l'urgence. L'enjeu est surtout d'identifier les zones où l'enfouissement de cadavres est rigoureusement impossible, à proximité d'un point de captage d'eau souterraine par exemple. Les cartographies ne rendent pas précisément les variations des terrains. Il est donc nécessaire de pratiquer des fouilles de reconnaissance au préalable.

Le cahier des charges de l'enfouissement est précis et peut être difficile à suivre point par point, surtout en situation d'urgence. En outre, les recommandations de suivi des sites ne sont pas toujours appliquées.

Par ailleurs, il privilégie un principe de confinement des carcasses par la mise en œuvre de dispositifs d'étanchéité. Comme le montre l'exhumation réalisée dans les Côtes-d'Armor, cette approche ne favorise pas la dégradation des carcasses et tend à créer des poches de pollution organiques durables. Il est probable que la situation soit similaire sur les sites d'enfouissement du Loiret et de Corse où les terrains ont été choisis pour leurs propriétés d'étanchéité (conformément au cahier des charges). L'apparent retour à une situation initiale dans le cas du Loiret cache sans doute une concentration de pollution organique.

Les conseils d'un hydrogéologue sont utiles pour le choix des terrains. Cependant, les caractéristiques requises pour les sols sont relativement simples à identifier et peuvent être reconnues par des agents ayant été formés à des rudiments d'hydrogéologie et de pédologie.

Il est indispensable de consigner les lieux d'enfouissements et leurs caractéristiques sur un dossier unique à l'échelle du département afin de prévenir d'éventuelles mises à jours accidentelles de ces fosses. Il faut relever : la date de l'enfouissement, le cadastre du terrain, la position de la fosse sur le terrain, la nature du sol, la profondeur de la fosse, la profondeur estimée de la nappe, l'espèce animale concernée, le tonnage de carcasse, les causes de l'enfouissement...

L'existence d'un document de référence sur la manière de pratiquer ces enfouissements est nécessaire. Il pourrait revêtir la forme d'une fiche technique diffusable rappelant des principes simples mais essentiels : choix des terrains, remplissage de la fosse,.... Il n'est pas nécessaire de rentrer dans le détail car chaque enfouissement est un cas particulier. Il serait accompagné d'une cartographie (départementale) des sites sur lesquels l'enfouissement de carcasses est à proscrire comme les zones de captages d'eau.

A la lumière de ces exemples, le sol idéal à la pratique de l'enfouissement doit limiter les phénomènes de confinement afin de garantir une décomposition naturelle des cadavres. A contrario, les pratiques actuelles tablent sur le confinement total afin de minimiser l'éventuelle dissémination de germes pathogènes et de polluants dans l'environnement. L'inquiétude de la diffusion de ces agents est-elle pertinente ? Il s'agit maintenant de préciser les dangers inhérents à la présence de fosses contenant des cadavres.

### **3 Caractérisation des dangers liés à l'enfouissement de carcasses animales**

#### **3.1 Identification des dangers**

Les dangers liés à l'enfouissement de carcasses en cas d'épizootie sont de deux types :

- tout d'abord, les dangers liés aux agents microbiologiques pathogènes présents dans l'animal (virus, bactérie, parasite). Ces agents peuvent être dus à la maladie ou être intrinsèques à l'animal (bactéries du tube digestif par exemple).
- Les dangers chimiques, liés à la structure biologique de l'animal. La décomposition d'une carcasse animale entraîne la minéralisation des éléments constitutifs (azote, carbone...).

Ces deux types de pollution sont susceptibles d'entraîner une dégradation de la qualité des eaux souterraines. Cependant, il est important de tenir compte du type de sol et du contexte géologique du site dans lequel la carcasse est enfouie : il s'agit en général d'un milieu épuratoire qui limite ainsi la pollution générée.

#### **3.2 Pollution microbiologique de l'environnement**

Les carcasses enfouies peuvent libérer de nombreux microorganismes dans le milieu naturel. Ils proviennent des tissus du cadavre et de son bol alimentaire. Après décomposition de la carcasse, les microorganismes peuvent diffuser dans le sol et rejoindre la nappe ou éventuellement contaminer les cultures. <sup>[11]-[12]</sup>

##### **3.2.1 Survie des microorganismes dans le sol**

Plusieurs facteurs influencent la survie des bactéries et des virus dans le sol : la microflore présente, la température, le type de sol, le pH, la minéralisation de l'eau qui s'infiltre, la présence dans celle-ci de matières organiques dissoutes, ... .

###### **A) Les virus**

Les virus sont retenus dans les sols principalement par des phénomènes d'adsorption. La rétention des virus dans les sols est dépendante de la concentration en virus. Les sols de texture fine retiennent plus facilement les virus que les sols sableux, la très forte capacité

d'adsorption des argiles s'expliquant par la surface développée considérable de ces minéraux et de leur capacité d'échange ionique. La teneur en argile est de ce fait déterminante vis-à-vis de la fixation des virus. La présence d'oxydes de fer peut accroître la capacité de rétention des virus par certains sols.

Les virus possèdent comme les protéines une charge électrique qui dépend du pH du milieu où ils sont en suspension. Pour des  $\text{pH} > 7$ , les virus sont chargés négativement. Il n'est cependant pas possible de conclure directement que l'adsorption est minimale pour des pH alcalins et que celle-ci est maximale en sol acide car d'autres facteurs tels que la présence de certains composés (argiles, oxydes de Al et Fe, acides humiques et fulviques) influent sur le comportement des virus dont certains possèdent par ailleurs deux points isoélectriques.

La concentration et les espèces dissoutes (espèces ioniques, cations divalents particulièrement) présentes dans l'eau qui s'infiltré influent sur l'importance de l'adsorption des virus ; celle-ci s'accroît avec la minéralisation. En conséquence l'infiltration d'eaux usées est favorable à la rétention des virus alors que l'infiltration des pluies, très peu minéralisées, conduit à la redistribution des virus selon les profils et, avec de fortes pluies, la remobilisation des virus peut s'accompagner de la contamination de captages d'eau souterraine.

La température est le facteur le plus important vis-à-vis de l'inactivation du virus dans l'environnement. Pour des températures basses la survie du virus est accrue en comparaison de celle observée pour des températures plus élevées.

La dessiccation du sol contribue aussi à l'élimination des virus dans les sols.

#### B) Les bactéries

Le taux de survie des bactéries entériques présentes dans le bol alimentaire augmente sur un sol acide, humide, riche en matière organique, avec une forte capacité de rétention en eau, une microflore pauvre, et à basse température.

La survie des salmonelles peut être supérieure à 1 an si le sol est frais, humide, et riche en matières organiques.

### 3.2.2 Survie des microorganismes dans l'eau

La turbidité et la concentration en matières en suspension ont un effet bénéfique pour la persistance des entérovirus, contrairement à la dureté, la conductivité et la présence de bactéries en phase de multiplication qui favorisent l'inactivation virale. La flore bactérienne viable produit des enzymes capables de cliver les protéines virales exposant l'ARN à la digestion par des nucléases.

Dans l'eau, la survie des bactéries est dépendante de la présence ou non d'autres microorganismes avec qui elles sont en compétition. Ainsi, contrairement aux virus, les bactéries survivent plus longtemps dans des eaux non polluées.

Comme dans le sol, l'espérance de vie des microorganismes dans l'eau est plus élevée à basse température.

### 3.2.3 Survie des microorganismes dans les plantes

Les virus et les bactéries pourraient éventuellement pénétrer dans les plantes par des lésions au niveau des racines, puis la sève brute distribuerait les microorganismes dans les parties supérieures de la plante. L'efficacité de ce mode de contamination semble très faible. Les variations climatiques ont beaucoup d'influence pour la survie des pathogènes dans les plantes. La chaleur, le soleil, et un air sec sont des facteurs néfastes à la survie des pathogènes.

### 3.2.4 Espérance de vie des microorganismes dans l'environnement et dangers pour la santé humaine.

L'espérance de vie des principaux microorganismes est inférieure à 150 jours dans l'eau, 100 jours dans le sol et 60 jours dans les plantes (Tableau 10).

Tableau 10: Espérance de vie des microorganismes dans l'environnement

Pathogène	Espérance de vie dans l'eau (jours)	Espérance de vie dans le sol (jours)	Espérance de vie dans les plantes (jours)
<b>Virus</b> Enterovirus	< 120	<100	<60
<b>Bactéries</b> Coliformes fécaux <i>Salmonelles. spp.</i> <i>Shigella. spp.</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>E.coli</i>	<60 <60 <30 <30 <150	<70 <70 <20 <15	<30 <30 <10 <5 <25
<b>Protozoaire</b> <i>Entamoeba histolytica</i> (spore) <i>Giardia</i> (spore)	<30 <80	<20	<10

Les dangers liés à l'enfouissement des carcasses sur la santé humaine semblent faibles. Avant de contaminer l'eau ou les plantes, les bactéries doivent survivre dans le sol puis changer de milieu.

Dans le sol, la plupart des bactéries ont une durée de vie courte et meurent pendant la décomposition des carcasses. Seuls les protozoaires et les spores vivent plus longtemps. Quant aux virus, ils ont peu de chance d'atteindre la nappe car les fosses sont creusées dans des sols limono-argileux favorables à leur rétention.

Les études abordant le transfert des virus dans la zone saturée du sol montrent que celui-ci est possible mais surtout dans les aquifères fissurés (karstique ou parfois de socle) ou pour des aquifères poreux présentant des perméabilités élevées ( $K= 10^{-2}$  à  $10^{-3}$  m/s). Pour obtenir de tels résultats, il a été nécessaire d'injecter les virus directement dans la

nappe car la zone non saturée du sol constitue une barrière au transfert des virus. Un transfert des virus vers les eaux souterraines semble donc très peu probable dans le cas de l'enfouissement des carcasses car les fosses sont creusées dans des sols profonds, limono-argileux et non fissurés. Les virus peuvent éventuellement remonter à la surface si la nappe monte après de fortes pluies.

Dans le cas où les microorganismes atteignent les plantes, leur introduction à l'intérieur de celles-ci semble peu probable et leur durée de vie dans ce milieu est beaucoup plus courte que dans les autres milieux.

Si les microorganismes atteignent la ressource en eau, leur survie dans ce milieu peut présenter un danger pour les personnes utilisant une ressource en eau privée<sup>[13]</sup>. En effet, les processus de traitement de l'eau mis en œuvre dans les filières de potabilisation permettent d'éliminer la majorité des agents infectieux relargués par les carcasses d'animaux morts.

Ainsi, la verotoxine O157 produite par *E.coli* (VTCE) et *Campylobacter* peuvent être trouvées dans l'eau à proximité d'un site d'enfouissement et présentent un risque majeur pour la santé humaine. La VTCE peut persister dans le sol et dans l'eau durant plusieurs semaines. L'eau distribuée par le réseau public présente peu de risque de contamination car des traitements permettent d'éliminer ces bactéries, cependant l'eau des puits peut être contaminée.

Les protozoaires *Cryptosporidium* et *Giardia* peuvent également être trouvés dans l'eau. Ils sont résistants à la chloration, mais la coagulation, la sédimentation et la filtration permettent de les éliminer.

On peut éventuellement trouver d'autres agents pathogènes comme *Listeria*, *Salmonelle*, *Streptobacillus*, *Yersinia* et *Mycobacterium tuberculosis* qui sont éliminés lors du traitement de l'eau.

### **3.3 Pollution chimique de l'environnement**

Une fois l'animal mort, divers processus entrent en jeu pour la dégradation de la carcasse animale. Ainsi, des processus physiques, chimiques et biologiques ont lieu et forment des sous produits solides, liquides et gazeux<sup>[1]</sup>.

#### **3.3.1 Description du processus biologique**

La carcasse est dégradée par des microorganismes intrinsèques (de la partie gastro-intestinale essentiellement) et d'autres présents dans l'environnement extérieur. Leur métabolisme peut être aérobie ou anaérobie.

Il est important que les effluents produits lors de cette dégradation ne polluent pas la nappe phréatique. Le contexte géologique joue donc un rôle important pour atténuer les risques liés à des transferts trop rapides de ces effluents.

Le processus biologique se décompose en plusieurs étapes : décomposition aérobie, décomposition anaérobie acide (avec production de méthane), décomposition anaérobie (avec production de méthane).

- Tout d'abord, la putréfaction dégrade la chair (dégradation aérobie). Cette étape est relativement rapide. Elle résulte d'une dissolution progressive des tissus dans les gaz, les liquides et les sels, à l'aide de l'action de bactéries et d'enzymes. Les microorganismes dégradent la matière organique en dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ , eau, résidus organiques partiellement dégradés et en chaleur.
- Ensuite, a lieu la dégradation anaérobie. La concentration en oxygène diminue progressivement dans le milieu, le procédé devient donc anaérobie. Cette étape se décompose en deux phases :
  - o une phase acide : les organismes facultatifs ( $\text{O}_2$  facultatifs) sont dominants et produisent des concentrations élevées en acides organiques, ammoniac, hydrogène, et  $\text{CO}_2$ .
  - o une phase anaérobie stricte : la concentration en oxygène est très faible, l'activité de dégradation est dominée par les microorganismes anaérobies, qui produisent du méthane comme premier sous produit. Cette décomposition peut continuer pendant plusieurs années.

### **3.3.2 Les sous-produits issus de la dégradation**

Les produits bruts formés pendant cette dégradation biologiques sont donc :

- résidus organiques,
- $\text{CO}_2$ ,
- eau,
- ammoniac,
- hydrogène,
- méthane.

Dans le sous-sol, les conditions sont plutôt réductrices, les sous-produits formés se trouvent donc sous leur forme réductrice. Ce sont donc plutôt l'ammoniac ou les nitrites qui se forment, plutôt que les nitrates. Ils sont ensuite oxydés par les bactéries du sol.

Une partie de ces sous-produits formés est sous forme gazeuse. La composition du sous-produit gazeux qui peut se dégager lors de la décomposition de carcasses animales est la suivante :

- 45% de dioxyde de carbone,
- 35% de méthane,
- 10% d'azote,
- et de traces d'autres gaz tel que le sulfure d'hydrogène.

Il est donc important d'éventrer les animaux de taille importante pour permettre l'échappement de ce gaz.

En général l'ordre dans lequel se dégradent les composants d'une carcasse est le suivant : cerveau, foie, tissus des reins, muscles, graisse, peau, cartilages et les poils ou les plumes, et enfin, les os, les cornes et les sabots.

Les proportions de matières biodégradables sont : 60% directement biodégradable, 15% modérément biodégradable, 20% lentement biodégradable et 5% inerte ou non biodégradable.

### 3.3.3 Analogie avec la décomposition du corps humain

Peu de données existent sur la décomposition des carcasses d'animaux. En revanche, des données sur la décomposition du corps humain sont accessibles. Celles-ci ne sont pas totalement représentatives de la dégradation d'une carcasse animale mais elles peuvent donner des informations sur les impacts potentiels sur l'environnement de ce type de dégradation.

Une expérience sur la décomposition du corps humain a été menée par la UK Environmental Agency <sup>[14]</sup> et a permis de dresser le tableau suivant :

**Tableau 11 : Masse (en kg) des principaux composés chimiques relargués par un corps humain de 70 kg pour différentes années après l'enfouissement <sup>[1]-[14]</sup>**

Année	COT	NH <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	P	SO <sub>4</sub>	Cl	Fe
1	6	0,87	0,56	0,01	0,05	0,07	0,250	0,210	0,048	0,020
2	3	0,44	0,28	0,005	0,025	0,035	0,125	0,110	0,024	0,01
3	1,5	0,22	0,14	0,003	0,013	0,018	0,063	0,054	0,012	0,005
4	0,75	0,11	0,07	0,001	0,006	0,009	0,032	0,027	0,006	0,003
5	0,37	0,05	0,03	*	0,003	0,004	0,016	0,012	0,003	0,001
6	0,19	0,03	0,02	*	0,002	0,002	0,008	0,006	0,002	*
7	0,1	0,01	0,01	*	0,001	0,001	0,004	0,003	*	*
8	0,05	<0,01	<0,01	*	*	*	0,002	0,001	*	*
9	0,02	<0,01	<0,01	*	*	*	0,001	*	*	*
10	0,01	<0,01	<0,01	*	*	*	*	*	*	*
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,02</b>	<b>0,1</b>	<b>0,14</b>	<b>0,5</b>	<b>0,42</b>	<b>0,09</b>	<b>0,04</b>

\* : < 0,001

Le tableau suivant compare les masses de composés chimiques relargués au bout de 1 an et 10 ans avec les masses contenues initialement dans le corps :

Tableau 12 : Pourcentages de relarguage issu de la décomposition au bout de 1 et 10 ans

Elément	Pourcentage de la masse corporelle <sup>[15]</sup>	Quantités (kg) pour un homme de 70 kg	1 an		10 ans	
			Masses (kg) relarguées <sup>[11]</sup> <sup>[14]</sup>	% relargué	Masses (kg) relarguées <sup>[11]</sup> <sup>[14]</sup>	% relargué
<b>Carbone</b>	18,5	12,95	6	46	11,99	93
<b>Azote</b>	3,5	2,45	0,87	36	1,73	71
<b>Calcium</b>	1,5	1,05	0,56	53	1,11	106
<b>Phosphore</b>	1	0,7	0,25	36	0,501	72
<b>Potassium</b>	0,4	0,28	0,07	25	0,139	50
<b>Soufre</b>	0,3	0,21	0,07	33	0,141	67
<b>Sodium</b>	0,2	0,14	0,05	36	0,1	71
<b>Chlore</b>	0,2	0,14	0,048	34	0,095	68

On constate qu'après 10 ans de décomposition, la totalité des composés n'est pas relarguée. Ceci est dû en partie au fait que ce tableau ne prend pas en compte les composés gazeux émis lors de la décomposition. De plus, ceci met en évidence que la dégradation d'un corps est lente.

On constate par ailleurs que la première année, environ la moitié de la masse initiale des composés est dégradée. Le processus de dégradation est donc très actif au début de l'enfouissement.

### 3.3.4 Quantités de liquides issus de la décomposition d'une carcasse animale

Les données sur la décomposition d'une carcasse animale ne concernent que les volumes rejetés en fonction du temps écoulé après la mort. Le tableau 13 présente les volumes estimés pendant l'épidémie de fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001.

Tableau 13: Quantités de liquide rejeté pour différentes espèces 1 semaine après la mort et 2 mois après la mort de l'animal<sup>[1]</sup>

	Volume estimé de liquide rejeté par animal (en L)	
	Première semaine post mortem	Deux premiers mois post mortem
<b>Bovins adulte (500 à 600 kg)</b>	80	160
<b>Veau</b>	10	20
<b>Ovins adulte (50 kg)</b>	7-8	14 – 16
<b>Agneau</b>	1	2
<b>Porc adulte</b>	6	12
<b>Porc en croissance</b>	3	6
<b>Porcelet</b>	0,4	0,8

L'agence UK Environmental Agency a confirmé ces chiffres en évaluant à 16 000 litres le volume rejeté par 1000 moutons adultes et à 17 000 litres celui rejeté par 100 vaches pendant les deux mois post mortem. On constate donc que la période qui génère le plus de lixiviats est celle qui suit la mort. En effet, il a été estimé que 50% du volume total de fluide disponible est rejeté pendant la première semaine après la mort, et que la totalité

des liquides contenus dans la carcasse est drainée après les 2 mois post mortem. Ceci est donc en accord avec les résultats obtenus sur le corps humain.

### **3.3.5 Facteurs influençant la vitesse de décomposition**

#### A) Sol/ sous sol

Une carcasse laissée à la surface du sol se dégrade beaucoup plus rapidement qu'une carcasse enterrée : pour un corps humain, 2 à 4 semaines lorsqu'il n'est pas enterré alors que le temps nécessaire est de 10 à 12 ans si il est enterré à une profondeur de 1,83 m (6 pieds). Ceci s'explique par le fait qu'il existe beaucoup plus de bactéries susceptibles de participer au processus de dégradation à la surface du sol que sous terre. De plus, dans le cas d'un enfouissement, la phase aérobie est limitée alors qu'à la surface du sol, l'oxygène est toujours disponible.

#### B) Eau

La décomposition est également plus rapide avec la présence d'eau : un corps placé dans l'eau se décompose autour de quatre fois plus rapidement qu'un corps enterré.

La vitesse de décomposition dépend de l'activité microbologique, qui est fonction de :

- la disponibilité des nutriments,
- les conditions du milieu (un pH neutre est préférable, température chaude accélère la décomposition, humidité),
- le type de sol (une drainage élevée accélère la décomposition)
- de la profondeur de l'enfouissement.

Le temps de décomposition dépend essentiellement des conditions extérieures (température, humidité et profondeur de l'enfouissement), du type de sol et de sa drainage, mais aussi du type de carcasse (espèce, taille)...

La vitesse à laquelle les contaminants sont entraînés dans le sol à partir des sites d'enfouissement dépend de la pluviométrie et de la perméabilité du sol. L'atténuation naturelle est le premier facteur qui détermine si les agents contaminants vont atteindre la nappe phréatique.

### **3.4 Risques pour les manipulateurs**

Afin de protéger les personnes responsables de l'enfouissement des carcasses et d'éviter la contamination du milieu extérieur, différentes mesures sont mises en place <sup>[16]-[24]</sup>:

- Les véhicules doivent passer dans des rotoluves à l'entrée et à la sortie de l'exploitation pour être désinfectés. Seuls les véhicules indispensables aux opérations d'assainissement peuvent pénétrer dans l'exploitation afin de minimiser les risques de propagation des agents infectieux.

- Des pédiluves doivent également être présents à l'entrée de chaque bâtiment d'élevage.
- Il est recommandé de porter une combinaison jetable, ou une blouse ou un ciré facile à laver et des bottes lorsque l'on intervient en milieu humide.
- Le port d'une paire de gants en latex est indispensable, éventuellement doublé d'un gant intérieur recouvrant plus largement le bras.
- Le matériel à usage unique sera jeté, tandis que les autres matériels seront nettoyés et désinfectés après manipulation.
- Il convient de se laver soigneusement les mains (eau + savon) après la fin des opérations.

Dans le contexte actuel d'épizootie d'influenza aviaire, il est intéressant de soulever la question de l'enfouissement des volailles et des dangers alors encourus.

## **4 Impact de l'enfouissement de volailles atteintes d'influenza aviaire**

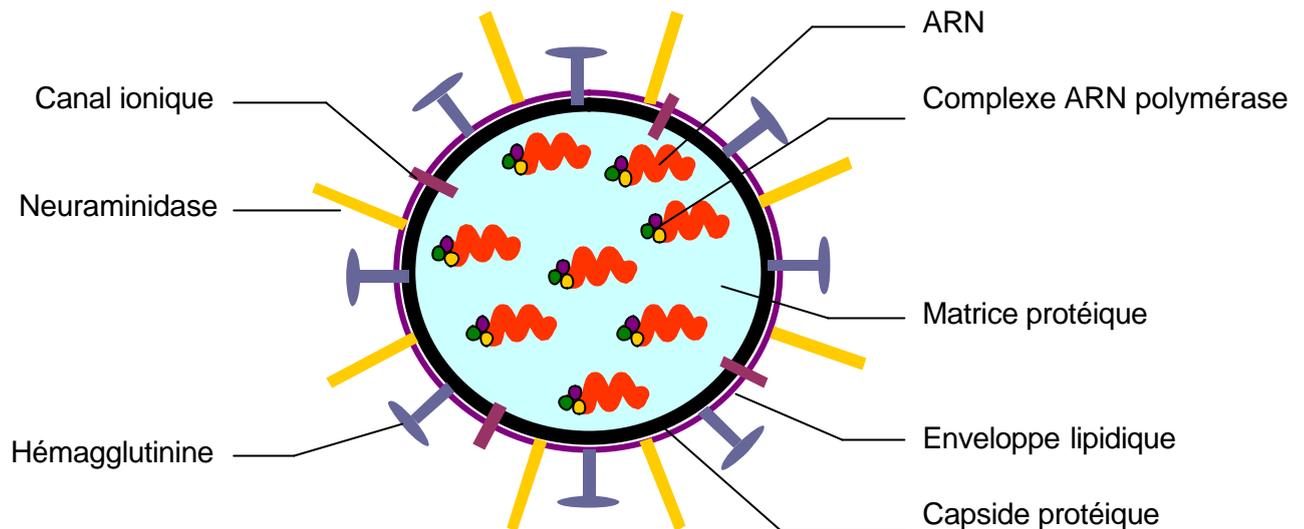
### **4.1 Le virus H5N1** <sup>[17]-[18]-[19]-[20]-[21]</sup>

#### **4.1.1 Caractéristiques des virus d'influenza de type A**

Les virus d'influenza de types A, B et C appartiennent à la famille des *orthomyxoviridae*. Les virus d'influenza aviaire appartiennent au type A.

Ces virus sont des virus enveloppés de forme sphérique de 80 à 120 nm. Les particules virales se composent :

- d'une matrice protéique,
- de 8 segments d'ARN, monocaténares de polarité négative, entourés d'une protéine dite NP,
- d'une membrane lipidique sur laquelle sont enchâssées des glycoprotéines à activité hémagglutinante (protéines H) et des protéines à activité neuraminidase (protéines N),
- de canaux ioniques,
- d'une capsidie protéique,
- de complexes protéiques ARN polymérase ( 3 protéines).



**Figure 15: Schéma structurel des virus d'influenza de type A**

Parmi les protéines virales, seules les deux glycoprotéines de l'enveloppe H et N sont les inducteurs de la réponse immunitaire de l'organisme hôte. Selon le type de la réponse sérologique, on distingue 15 espèces d'hémagglutinines (H1 à H15) et 9 espèces de neuraminidases (N1 à N9). Les différentes combinaisons du génome de ces virus engendrent divers sous types viraux HxNy ( H5N1, H7N7,...)

La circulation prolongée de souches d'un sous-type viral au sein d'une espèce animale peut conduire à l'acquisition de caractères génétiques particuliers. Il est donc possible d'identifier différentes lignées génétiques dans un même sous-type. Ainsi, on distingue dans le sous type H7N7, une lignée porcine et une lignée aviaire.

Les oiseaux sauvages aquatiques sont les hôtes naturels de toutes les combinaisons possibles HxNy ; il semble cependant que certaines combinaisons soient privilégiées. Au contraire de ce qui se passe chez les oiseaux, seuls certains sous types viraux sont inféodés aux espèces de mammifères. Le porc tient une place particulière chez les mammifères car il possède des sous-types viraux inféodés mais il peut héberger des lignées humaines et aviaires.

#### **4.1.2 Infections aux virus d'influenza A aviaires**

Les virus aviaires montrent une grande affinité pour l'épithélium trachéal et digestif des oiseaux. Ce sont les hémagglutinines qui sont impliquées dans la reconnaissance des récepteurs des cellules cibles de l'animal hôte, puis de la pénétration du virus dans les cellules. Il a été démontré que les hémagglutinines constituent un déterminant majeur de la virulence du virus. D'autre part, les neuraminidases sont responsables de l'hydrolyse de récepteurs lors du bourgeonnement des virus.

Les virus d'influenza A aviaires ont une bonne capacité d'évolution par mutation ponctuelle de l'ARN lors des phases de transcription et de réplication. Par ailleurs, la segmentation du matériel génétique permet un réassort viral très important.

Toutes les espèces de volailles sont susceptibles d'être infectées par ces virus. L'infection peut être inapparente mais peut aussi provoquer des symptômes dont la gravité dépend de la souche de virus, de l'espèce infectée, de l'âge de l'animal, des infections intercurrentes et des facteurs environnementaux. Selon ces paramètres, l'influenza aviaire se manifeste par les signes cliniques suivants :

- Formes graves : atteinte importante de l'état général de l'animal, œdème de la tête, cyanose de la crête, des barbillons et de l'extrémité des pattes ; troubles respiratoires marqués, troubles digestifs et parfois nerveux. La mort survient en un ou deux jours et peut toucher 75% de l'effectif.
- Formes subaiguës : atteinte de l'état général associée à des symptômes respiratoires et une chute de la ponte. Dans certaines circonstances, la mortalité peut atteindre 50 à 70% de l'effectif.
- Formes frustrées : légers symptômes respiratoires et troubles de la ponte.
- Formes asymptomatique ; très fréquentes.

Parfois, le tableau clinique d'une infection par un virus d'influenza aviaire ne peut être différencié de la maladie de Newcastle.

#### **4.1.3 Matières virulentes et transmission**

Les virus d'influenza aviaires sont excrétés par les oiseaux infectés au niveau du tractus respiratoire, de la conjonctive et des fèces. Ces derniers contiennent jusqu'à  $10^7$  particules virales par gramme. Les déjections et les plumes souillées par les fientes sont donc d'importants vecteurs de contamination.

Les voies de transmission entre les oiseaux sont les contacts directs et indirects avec des animaux infectés. Ce dernier mode inclut l'exposition aux aérosols et le contact avec un environnement contaminé.

#### **4.1.4 Persistances des virus d'influenza dans l'environnement**

La persistance des virus d'influenza aviaire dans l'environnement est relativement peu importante et est conditionnée, comme pour beaucoup de virus, par : la température, le pH et la présence d'eau. Globalement, une diminution de la température et un pH légèrement acide améliorent la persistance des particules virales. Le virus H5N1 peut, semble-t-il, survivre 4 jours à 22°C, 30j à 0°C dans de l'eau, et jusqu'à 40 jours dans les fientes.

L'eau contaminée par des fientes d'oiseaux malades peut donc être un vecteur de l'influenza aviaire. Cependant, il semble que le transfert des virus par de l'eau souterraine soit peu probable. En effet, les virus possèdent à leur surface, des charges

électrostatiques qui favoriseraient leur adsorption aux particules du sol. Ainsi, le sol immobiliserait les particules virales. Les argiles, de part leur grande surface développée et leur capacité d'échanges d'ions, retiennent plus efficacement les virus que les sols sableux.

Les pH basiques détruisent les virus, c'est pourquoi, de la soude peut être utilisée pour désinfecter les lieux où des volailles malades ont séjourné.

## **4.2 Gestion d'une épizootie**

### **4.2.1 Principe de gestion**

Le plan national de lutte contre la grippe aviaire, proposé par le ministère de l'agriculture prévoit l'abattage de la totalité des volailles d'un élevage en cas de suspicion ou de cas avéré d'influenza aviaire. Ce principe s'accompagne de mesures de sécurisation du site infecté.

### **4.2.2 Contraintes techniques de l'élimination des volailles**

Les élevages peuvent compter de 40000 à 50000 volailles, cela correspond environ à 30 à 60 tonnes de carcasses, selon l'âge des animaux, qu'il faut ensuite gérer. Dans le cas idéal, c'est le service d'équarrissage qui doit prendre en charge les carcasses. Toutefois, si l'épizootie se propage rapidement, il serait possible que les usines d'équarrissages soient saturées. Il n'en existe que deux en Bretagne. Or, les carcasses de volailles ne peuvent pas rester en souffrance dans des pièces réfrigérées comme pour les bovins par exemple, car elles pourrissent très vite. Elles se liquéfient et sont extrêmement nauséabondes. Dans ces conditions, le recours à l'enfouissement des carcasses peut être une solution.

Ces mesures d'abattages sont toujours une situation d'urgence pour lesquelles il faut trouver les solutions les plus rapides et les plus raisonnables.

### **4.2.3 L'abattage des volailles**

L'abattage des volailles conditionne par la suite l'élimination des carcasses. Il doit être fait dans les meilleures conditions de respect des animaux. Il existe plusieurs techniques d'abattage reposant sur la mort par asphyxie :

- Un somnifère est administré aux oiseaux dans leur eau de boisson. Ils sont capturés et introduits dans un caisson hermétique contenant une forte concentration en dioxyde de carbone.
- Les animaux sont gazés au sein de l'élevage préalablement rendu « étanche »
- Les animaux sont capturés puis introduits dans des sacs hermétiques de type sacs plastiques. La fermeture du sac entraîne l'asphyxie de l'animal.

L'asphyxie par caisson est intéressante car les cadavres peuvent être transférés sans manipulation directe vers le centre d'équarrissage ou vers la fosse d'enfouissement. Les conditions de transports sont idéales puisque le caisson est totalement étanche. Il n'y a donc pas de risque de dispersion de produits contaminés.

Le gazage des volatiles dans le bâtiment d'élevage nécessite une manipulation des cadavres mais ne pose pas de problèmes particuliers pour l'enfouissement s'il est réalisé sur le site.

En revanche, la méthode « sacs poubelles » pose questions. Les sacs fermés ne doivent pas être rouverts. Ne pouvant pas être traités par les centres d'équarrissage ou incinérés en unité d'incinération d'ordures ménagères (UOM), il semblerait qu'ils soient enfouis. Dans ce cas cela pose un problème écologique dans la mesure où les plastiques sont faiblement biodégradables. Par ailleurs, cette technique ne permet pas la décomposition des cadavres dans de bonnes conditions.

### **4.3 Caractérisation des dangers liés à l'enfouissement de volailles.**

#### **4.3.1 Pollution chimique : Scénario de dégradation d'une carcasse de poulet**

Une carcasse animale est constituée des éléments chimiques essentiels : C, H, O, N, P. Les composés chimiques susceptibles de polluer une nappe phréatique sont essentiellement les nitrates et le carbone organique. En effet, le phosphore n'est pas mobile car il est fixé par les particules du sol. Le phosphore est donc un composé susceptible de polluer les eaux de surface par ruissellement plutôt que les eaux souterraines.

La connaissance des quantités de protéines et de lipides dans les carcasses de différentes espèces avicoles ainsi que la liste plus détaillée des quantités d'acides aminés<sup>[22]</sup>, permet d'estimer la quantité d'azote présente dans une carcasse, et donc susceptible d'être transférée vers la nappe.

La situation considérée est un scénario pessimiste. Les hypothèses sont les suivantes :

- poulet mâle à l'âge auquel il atteint son poids mature,
- la totalité de l'azote contenu dans la carcasse est minéralisée.

La composition en acides aminés de la carcasse du poulet est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 14 : Masse de différents acides aminés contenue dans 1 kg de poulet mâle adulte**

acide aminé	Quantité (en g) d'acide aminé/kg de poulet mâle	
	corps	Plumes
Lysine	11	1
Acides aminés soufrés	6	4
Tryptophane	1	0,3
Thréonine	7	2
Leucine	12	4
Isoleucine	7	3
Valine	8	4
Histidine	6	0,3
Arginine	11	4
phénylalanine + tyrosine	11	4
Autres acides aminés	82	1

Afin de nous placer dans la situation la plus défavorable, lorsque la détermination de la masse d'acide aminé n'est pas précise, nous avons considéré l'acide aminé qui donne une masse d'azote maximale. Par exemple, nous avons considéré que les « autres acides aminés » sont constitués uniquement de glycine. Cet acide aminé possède la masse molaire la plus faible et conduit donc à la masse d'azote la plus élevée, à nombre d'atome d'azote constant dans la molécule.

**Tableau 15 : Masse d'azote apportée par différents acides aminés dans 1 kg de poulet mâle adulte**

acide aminé	Masse molaire de l'acide aminé (g/mol)	Masse d'azote (g)	
		Carcasse	plumes
Lysine	147	2,0	0,1
acides aminés soufrés (cystéine considéré)	121	0,7	0,4
tryptophane	204	0,2	0,0
Thréonine	119	0,8	0,3
Leucine	131	1,2	0,4
Isoleucine	131	0,7	0,3
Valine	117	0,9	0,5
Histidine	156	1,5	0,1
Arginine	160	2,9	0,9
phénylalanine + tyrosine (phénylalanine considéré)	165	1,0	0,3
autres AA (glycine considéré)	75	15,4	4,1
<b>TOTAL azote</b>		<b>27</b>	<b>8</b>

Ainsi, on en conclut que la quantité d'azote contenu dans 1 kilogramme de carcasse de poulet adulte mâle (corps + plumes) est de l'ordre de 35 grammes.

Afin de confirmer notre résultat, nous avons calculé la quantité d'azote contenu dans la carcasse d'un poulet en appliquant au poids d'un poulet les pourcentages massiques des éléments essentiels contenus dans le corps humain. Le pourcentage de la masse corporelle pour l'azote est de 3,5 % <sup>[12]</sup> dans le corps humain.

La masse obtenue par ce calcul est identique à celle obtenue par le calcul à partir de la composition de la carcasse en protéines et en acides aminés, soit environ 35 grammes/kg de poulet adulte mâle.

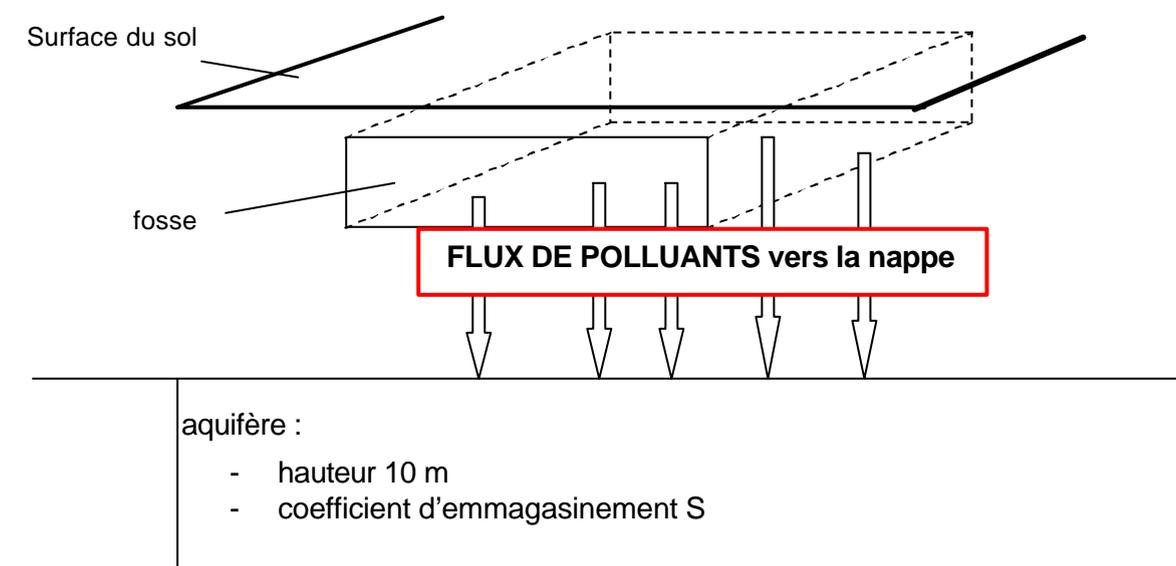
Pour estimer les quantités des autres éléments comme le carbone et le phosphore contenus dans 1 kilogramme de carcasse de poulet puis en déduire celles contenues dans 10 tonnes (exemple d'une exploitation d'environ 5 000 poulets), nous avons appliqué les mêmes pourcentages que ceux du corps humain. Nous considérons toujours que la minéralisation est totale.

**Tableau 16: Quantités d'azote, de carbone et de phosphore (en kg) contenues dans 1 kg et 10 000 kg de poulet déterminée à partir des pourcentages humains**

Élément	Pourcentage de la masse corporelle <sup>[12]</sup>	Masse (en g) /kg de poulet	Masse (en kg) pour 10 000 kg de poulet
<b>Azote</b>	3,5	35	350
<b>Carbone</b>	18,5	185	1 850
<b>phosphore</b>	1	10	100

L'impact du flux de pollution généré par une fosse d'enfouissement ne peut pas être comparé aux valeurs de nitrates admissibles sur une surface d'épandage car les fosses sont creusées dans le sol, et les végétaux ne puisent pas leurs nutriments au-delà 50 cm. Ainsi, la totalité des nitrates formés reste dans le sol et peut être transférée à la nappe. Afin d'estimer ce flux de pollution, nous nous sommes placés dans le cas d'une nappe d'une hauteur de 10 mètres, et d'un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de  $10^{-4}$  (valeur rencontrée en Bretagne).

Selon le nombre de poulets enfouis, les flux de polluants ainsi que les dimensions de la fosse sont différents.



**Figure 16: Schématisation du transfert des composés de la fosse d'enfouissement à la nappe phréatique**

On peut ainsi déterminer le volume d'eau libre de l'aquifère.

La surface nécessaire pour enfouir un poulet est prise égale à  $20 \times 30 = 600 \text{ cm}^2$ . Ainsi, pour 10 000 kg de poulet, soit environ 5 000 poulets, la surface de la fosse est de

600 x 5 000 = 300 m<sup>2</sup> (nous nous sommes placés ici dans le cas d'une fosse ne contenant qu'une seule couche de poulet).

Le volume de l'aquifère sous la fosse est donc de 300 x 10 = 3 000 m<sup>3</sup>.

$$\text{coefficient d'emmagasinement} = \frac{\text{volume d'eau libre}}{\text{volume total de l'aquifère}}$$

Si ce coefficient est égal à 10<sup>-4</sup>, le volume d'eau contenu sous la fosse est donc de 3 000 x 10<sup>-4</sup> = 300 L.

L'estimation de la concentration dans la nappe ne peut se faire directement, il est nécessaire de tenir compte de l'hydrodynamisme de la nappe (écoulement, diffusion au sein de la nappe) et de la cinétique de décomposition des carcasses. Pour ce faire, il faudrait utiliser un logiciel de modélisation pour estimer l'impact d'un apport ponctuel de polluant dans le sol.

Si la décomposition se fait sur 5 ans, et que le taux de décomposition est le même sur ces 5 années, les quantités annuelles de pollutions générées sont :

**Tableau 17 : Masses totale (sur les 5 ans) relarguées par 10 000 kg de poulet, et flux annuels générés**

Elément	Masse totale relarguée	Quantité générée annuellement
Azote	350 kg N	70 kg N/an
Carbone	1850 kg C	370 kg C/an

Les quantités d'azote et de carbone organique générées ne sont pas négligeables (le phosphore restant fixé dans le sol). Il convient de tenir compte du fait que les composés sont relargués progressivement dans l'environnement. Cette diffusion dépend du type de sol. Un sol aéré, drainant et sain n'entraînera pas de pollution importante de la nappe si celle-ci ne baigne pas dans la fosse. Il faut par contre proscrire les terrains karstiques et fissurés qui favorisent les transferts directs à la nappe phréatique.

#### **4.3.2 Risques pour les manipulateurs** <sup>[16]-[24]</sup>

Il est important de bien différencier les risques liés à la manipulation d'un oiseau lorsqu'il est vivant ou mort, en effet, un oiseau mort ne génère aucun aérosol susceptible de contaminer la personne qui le manipule. En revanche, un oiseau vivant en se débattant ou en respirant, génère un grand nombre d'aérosols qui, si l'animal est infecté par le virus H5N1, peut présenter un danger pour le manipulateur. En plus des prescriptions habituelles, en cas de H5N1, il est conseillé de porter des lunettes de protection en plexiglas et un masque. Les oiseaux collectés doivent être placés dans un sac en plastique étanche et fermé hermétiquement, qui doit être placé dans un second sac en plastique également fermé, pour éviter toute souillure à partir du premier sac éventuellement souillé. Les oiseaux pourront ensuite être enterrés, et les sacs ayant servi à leur transport pourront être déposés en déchetterie de manière à ce qu'ils soient

incinérés. De plus, le Comité Supérieur d'Hygiène Publique, du Centre Européen du Contrôle des Maladies recommande à tous les professionnels de se faire vacciner contre la grippe saisonnière.

---

## Conclusion

---

En conclusion, il faut rappeler que l'enfouissement est interdit en France sauf arrêté ministériel, préfectoral ou municipal. Le recours à l'enfouissement ne se justifie qu'en cas de crise : épizootie, surmortalité exceptionnelle en élevage, le service public d'équarrissage ayant, en temps normal, en charge la collecte et la destruction des cadavres.

La mise en œuvre de l'enfouissement est pilotée par les services vétérinaires (DDSV), tandis que les services du ministère de la Santé (DDASS) en assurent la sécurité sanitaire. D'autres services déconcentrés de l'Etat peuvent être aussi impliqués : DDE, DDAF au titre de la police de l'eau, SDIS, gendarmerie...

Les dangers engendrés par les enfouissements sont de deux natures. Ils laissent craindre, d'une part une contamination microbiologique de l'eau des nappes sous jacentes, d'autre part une pollution chimique de ces eaux par les produits de dégradation des cadavres.

Deux visions s'opposent pour la réalisation des enfouissements : le confinement des carcasses qui supprime tout transfert de germes vers le milieu, et la dégradation naturelle qui s'appuie sur le pouvoir épurateur des sols.

Le plus souvent, c'est la volonté de confinement qui prévaut. L'enfouissement est en effet réalisé de telle sorte que les carcasses soient tenues à distance des eaux souterraines par des dispositifs d'étanchéité : géomembranes, bâches plastiques, argiles compactées, etc.... Ces dispositions ne permettent pas la dégradation rapide des cadavres et créent des poches de matière organique qui persistent longtemps et peuvent être mises à jour lors de travaux de terrassement notamment. A contrario, l'enfouissement en fosses simples permet une dégradation naturelle avec une émission progressive des produits de décomposition et garanti une épuration, évitant ainsi l'accumulation de pollution.

La sécurité sanitaire est quant à elle garantie par une bonne connaissance de l'aptitude des terrains choisis à recevoir des cadavres animaux. L'avis préalable d'un hydrogéologue est utile. Toutefois, dans un contexte de crise, il est possible que ceux-ci ne soient pas mobilisables. Il est donc important que certains agents de l'Etat aient des connaissances suffisantes sur les sols afin de pallier l'indisponibilité des hydrogéologues. La rédaction d'une fiche technique sur les enfouissement est nécessaire à la formation et à l'information des services de l'Etat. L'existence de cartographies des terrains interdits pour la réalisation d'enfouissement peut permettre de choisir plus rapidement un site. Il

s'agit de recenser les zones sensibles comme les périmètres de protection des captages d'eau potable. Il ne faut cependant pas s'en satisfaire ; il est indispensable de réaliser une fouille de reconnaissance avant le creusement des fosses car il peut apparaître des différences significatives entre une cartographie sommaire et la réalité du terrain. Cette fouille doit être suffisante pour s'assurer que les eaux souterraines ne seront pas directement en contact avec les carcasses. Pour que la dégradation naturelle se fasse correctement, le sol doit donc être aéré, drainant et hors des zones de battement de la nappe. Il est important que les sites d'enfouissements ainsi que leurs caractéristiques soient répertoriés afin de prévenir d'éventuelles mises à jour.

En l'absence de captage d'eau à proximité immédiate des fosses, les risques sanitaires sont limités. En effet, la capacité de survie des agents pathogènes est relativement peu importante dans les sols sous nos latitudes. Les transferts d'eaux, hors zones de karst ou de zones fissurées sont lents et permettent au sol d'assurer une fonction d'épuration naturelle. L'enfouissement de volailles infectées par le virus H5N1 ne pose pas plus de problèmes car cet agent sera rapidement adsorbé par les particules de sols puis naturellement inactivé. Un parallèle peut être fait avec les norovirus et astrovirus qui, bien que résistants, diffusent très peu dans les sols. De plus, ils sont aussi éliminés par les désinfectants utilisés pour les traitements de potabilisation de l'eau. Il en va de même avec les virus d'influenza aviaire.

A la lumière de cette étude, il est donc conseillé de réaliser les enfouissements avec une épaisseur de carcasses la plus mince possible (entre 30 à 50 cm ou 1 animal sur le flanc pour les plus gros). Le but est de diluer le flux des produits de décomposition et de limiter la formation de poches de pollution. La seule contrainte est la surface de terrain disponible. Par ailleurs, la chaux vive est couramment utilisée comme activateur de la décomposition. Ce phénomène n'est pas scientifiquement avéré. Au contraire, il est vraisemblable que le processus soit ralenti. En effet, l'élévation de pH, provoquée par la chaux, détruit les agents bactériens responsables de la dégradation des carcasses. Par ailleurs, nous avons constaté que la chaux forme une gangue autour des carcasses. Son action se limite donc à la surface des cadavres.

Enfin, par rapport aux techniques de décharge ou de compostage rencontrées dans les pays anglo-saxons, l'enfouissement des carcasses revêt plusieurs avantages. C'est une pratique peu onéreuse, facile à mettre en œuvre si elle est bien préparée et adaptée aux situations de crises. Les fosses n'imposent pas de suivi lourd si le choix du terrain et l'opération ont été bien menés. Cette pratique pose cependant le problème de l'acceptabilité sociale de charniers.

---

## Bibliographie

---

### Publications et ouvrages :

[1] : **Nutsch A., Spire M.**, Carcass Disposal: A Comprehensive Review, *National Agricultural Biosecurity Center*, 2004, Burial chapter 1, 1-68

[2] : **Schmidt C.**, Principes généraux et réglementation de la désinfection dans la lutte contre les maladies réputées contagieuses. Applications pratiques à la fièvre aphteuse et aux orbiviroses, *thèse présentée à l'Université Claude Bernard Lyon I*, 2003

[3] : **Scudamore J.M., Trevelyan G.M., Tas M.V., Varley E.M., Hickman G.A.W.**, Carcass disposal: lessons from Great Britain following the foot and mouth disease outbreaks of 2001, *Revue scientifique et technique OIE*, 2002, **21**, 775-787

[4] : **MacArthur A.J., Milne J.C., Young P.J.**, Leachate characteristics arising from the foot and mouth mass burial site in Scotland

[5] : **Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs**, Proper burial techniques for small farms animals and poultry mortalities under 25 kg; 2003, Agdex# : 725/400, Order# : 03-049

[6] : Etude du BRGM, Plan de lutte contre la fièvre aphteuse, Département Seine Maritime, Cahier des charges pour la recherche d'un site propice à l'enfouissement de cadavres d'animaux, 1997, Rapport BRGM R 39798

[7] : Parlement Européen, communication aux membres de la commission temporaire sur la fièvre aphteuse

[8] : Plan de lutte contre la fièvre aphteuse, département de la Manche, 1998

[9] : **Jean-Joseph FERRACCI-CECCALDI** Hydrogéologue Agréé de la Région Corse Expert près la Cour d'Appel de Bastia. 2000. Fièvre catarrhale, Rapport d'expertise, Enfouissement de cadavres d'ovins, Corse du Sud. 42p.

[10] : **Jean-Joseph FERRACCI-CECCALDI** Hydrogéologue Agréé de la Région Corse  
Expert près la Cour d'Appel de Bastia. 2001. Fièvre catarrhale, Rapport d'expertise  
Enfouissement de cadavres d'ovins, Corse du Sud. 23p.

[11] : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, Quels sont les risques  
sanitaires liées aux possibles sources et réservoirs environnementaux de ces virus ?.  
Mars 2006.52p.

[12] : **Feachem,R.G.**, et al.1983. sanitation and diseases. Health aspects of excreta and  
wastewater management. Publié par John Wiley and sons. 501p.

[13] : UK Environment Agency, A Rapid Qualitative Assessment of possible risks to Public  
Health from current Foot & Mouth Disposal Options Main Report, 2001

[14] : UK Environment Agency, Assessing the Groundwater Pollution Potential of  
Cemetery Developments, 2004, 20p

[15] : Extrait de : Biologie, Campbell, DeBoeck Université, 1995.  
Titre original : N.A Campbell, Biology, 3th edition.

[16] : **DUNCAT.J.**, 21 octobre 2005 Comité national de lutte contre les pestes aviairesO  
AVIAIRES, Réunion du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 3p.

[17] : **E.Laudert, V. Sivananda, D.Halvorson, D. Shaw, R.G. Webster**,Biological and  
molecular Characterization of H13N2 Influenza Type A Isolatred from Turkeys and  
Surface Water, *College of Veterinary Medicine*, University of Minnesota, 1992

[18] : **F.Quignon, E.Coton, M. Madeline, B.Pinoche**, Incidence des paramètres  
technologiques et des désinfectants sur le risque viral en agro-alimentaire, ADRIA  
Normandie

[19] : **D;E. Stallknecht, M.T. Kearney, S.M Shane, P.J Zwank**, Effects of pH,  
Température, and Salinity on Persistance of Influenza Viruses in Water, Department of  
Epidemiology and Community Health, *School of Veterinary Medicine*, Louisiana State  
university, Baton Rouge, 1990

[20] : **V.Sivanandan, D.A. Halvorson, E. Laudert, D.A Senne, M.C. Kumar**, Isolation of H13N Influenza A Virus from Turkeys and Surface Water, *College of Veterinary Medicine*, University of Minnesota, 1991

[21] : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, Rapport du groupe de travail sur le risque de transmission à l'homme des virus d'influenza aviaires, 2002

[22] : **Larbier M., Leclercq B.**, Nutrition et alimentation des volailles, INRA Editions, 1991, 171-193

**Sites WEB :**

[23] : Légifrance : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr) : visité le 10 mars 2006

[24] : [www.Grippeaviaire.gouv.fr](http://www.Grippeaviaire.gouv.fr) : visité le 21 février 2006. Quelles sont les précautions à prendre pour manipuler ou collecter des oiseaux sauvages ?

Organisation mondiale de la santé animale, OIE : [www.oie.int](http://www.oie.int)

Union Européenne : [www.europe.eu.int](http://www.europe.eu.int)

**Entretiens :**

Mr Jean-Paul Le Dantec, DDSV Ille-et-Vilaine

Mr Hervé Morisset, DIREN Bretagne

Mme Garance Maurin, DDASS du Loiret

Mr Jean-Claude Roux, hydrogéologue agréé, Loiret

Mr Didier Roose, DDSV du Loiret

---

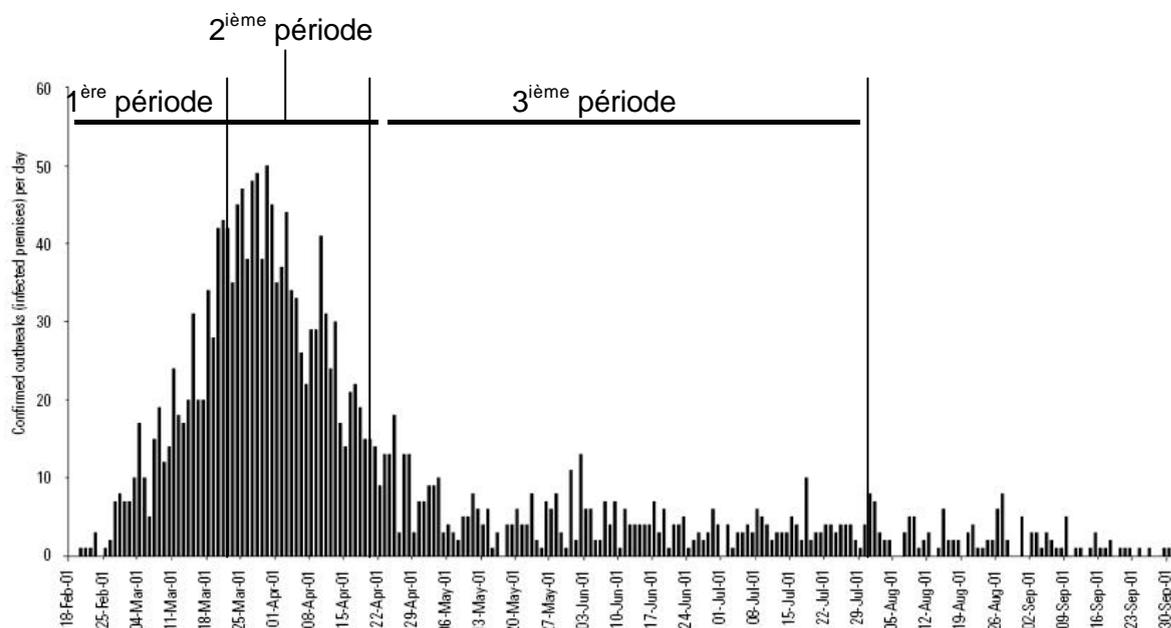
## Liste des annexes

---

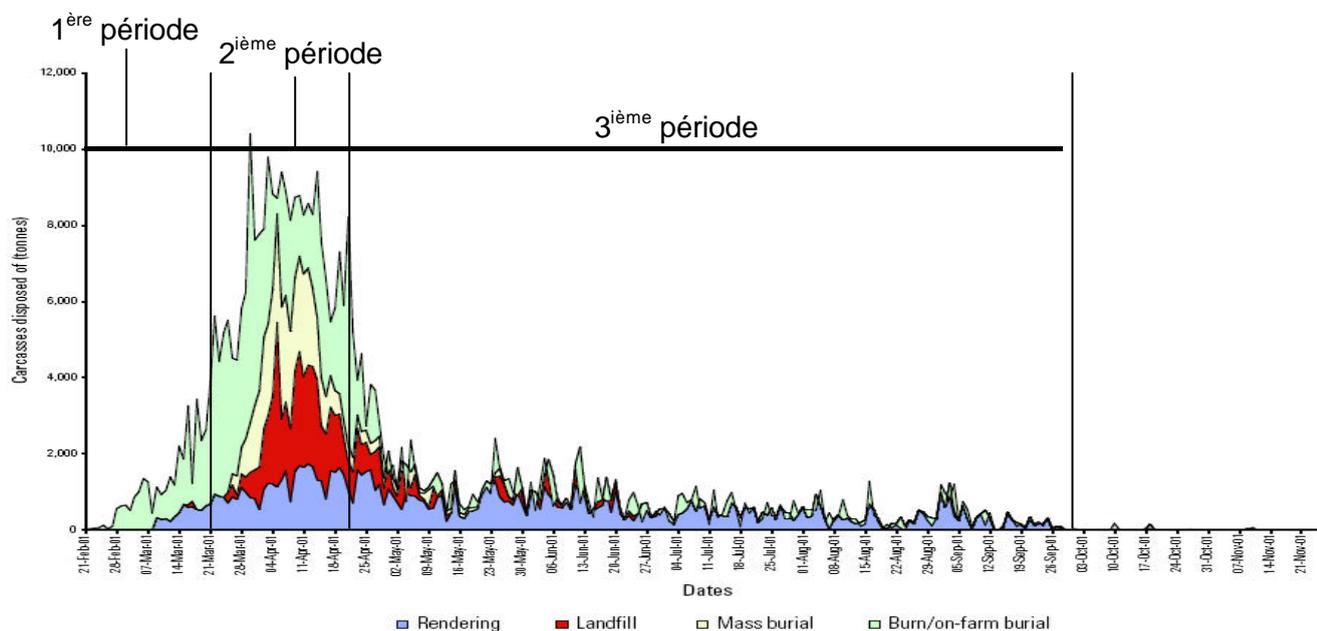
<b>ANNEXE 1 : Epizootie de fièvre aphteuse au Royaume Uni .....</b>	<b>II</b>
<b>ANNEXE 2 : Détails des critères à liés à l'environnement du site.....</b>	<b>III</b>
<b>ANNEXE 3 : Prescriptions techniques pour l'enfouissement de carcasses animales – document de la DDSV 35 – juin 2005 .....</b>	<b>V</b>
<b>ANNEXE 4 : Carte géographique de la région d'Orléans et localisation du site d'enfouissement.....</b>	<b>VI</b>
<b>ANNEXE 5 : Suivi de la qualité de la nappe de Beauce .....</b>	<b>VII</b>

## ANNEXE 1 : Epizootie de fièvre aphteuse au Royaume Uni

Distribution des nouveaux cas confirmés pendant l'épidémie de fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001 :



Quantités de carcasse éliminées selon différentes voies d'élimination pendant l'épidémie de fièvre aphteuse en 2001 en Grande Bretagne :



## ANNEXE 2 : Détails des critères à liés à l'environnement du site

### B) Topographie et géographie

On choisira préférentiellement les terrains à surface horizontale ou en faible pente, c'est à dire inférieure à 7%. La stabilité du terrain sera appréciée d'après des informations géotechniques.

Les sites seront situés à au moins vingt mètres de l'habitation la plus proche. Ils seront intégrés dans l'environnement.

### C) Hydrographie

Il est nécessaire d'étudier les risques de contamination des cours d'eau avoisinant. Les zones sourceuses et marécageuses ou inondables seront écartées.

### D) Servitudes environnementales liées à l'activité humaine

#### a) zones urbanisées

Les sites potentiels situés dans un environnement urbain sont impropres à l'implantation de fosses d'enfouissement pour des raisons de salubrité publique.

#### b) forages et captages

*Ouvrages publics destinés à l'alimentation en eau potable* : il convient ici de prendre en considération les périmètres de protection des captages, et les distances de sécurité en amont des ouvrages (si les périmètres de protection n'existent pas). L'implantation de fosses dans le Périmètre de Protection Rapproché ou Eloigné est a priori exclu. Une tolérance peut être faite quand le Périmètre de Protection Eloigné est vaste et qu'aucune autre solution n'est envisageable. Une distance de 300 mètres entre le site et l'ouvrage est alors indispensable.

*Ouvrages privés à usage domestique* : les ouvrages privés utilisés pour l'alimentation en eau domestique ou pour abreuver les bêtes n'ont jamais de périmètres de protection. Les distances à considérer pour l'implantation d'une fosse sont les mêmes que pour les ouvrages AEP sans périmètre de protection défini, c'est à dire 300 mètres.

*Ouvrages privés à usage non domestique* : les contraintes sont moins fortes pour les forages à caractère industriel ou non domestique ; la distance à considérer est de 50 mètres.

#### c) réseaux de drainage agricole

Sur les terres agricoles, le choix du site d'enfouissement doit tenir compte du réseau de drainage des champs. Il convient en effet d'éviter qu'un éventuel effluent de fosse d'enfouissement ne passe dans le réseau de drainage (surtout si le transfert est rapide). Il pourrait en résulter une pollution microbiologique.

*d) conduites enterrées*

Il ne s'agit pas ici de la détérioration directe de la qualité de l'environnement mais plutôt de la détérioration des conduites au cours du creusement, voire des dangers d'incendie ou d'explosion. Une vérification auprès du maire de la commune doit donc être faite.

*e) axes routiers*

La présence d'axes routiers à proximité du site potentiel présente à la fois l'avantage de présenter la facilité d'accès pour les engins et les camions, mais aussi l'inconvénient de constituer éventuellement un axe de dissémination privilégié des agents pathogènes. Une distance de 50 mètres entre la fosse et la route est donc à respecter.

*f) écologie*

Les contraintes liées à l'environnement et à l'écologie doivent être prises en compte. Il est interdit d'enfouir les cadavres d'animaux dans les ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Floristique et Faunistique) sauf dans le cas d'une dérogation.

Il faut penser à un réarrangement du site l'avenir et prendre en compte la dynamique végétale du milieu naturel.

### ANNEXE 3 : Prescriptions techniques pour l'enfouissement de carcasses animales – document de la DDSV 35 – juin 2005

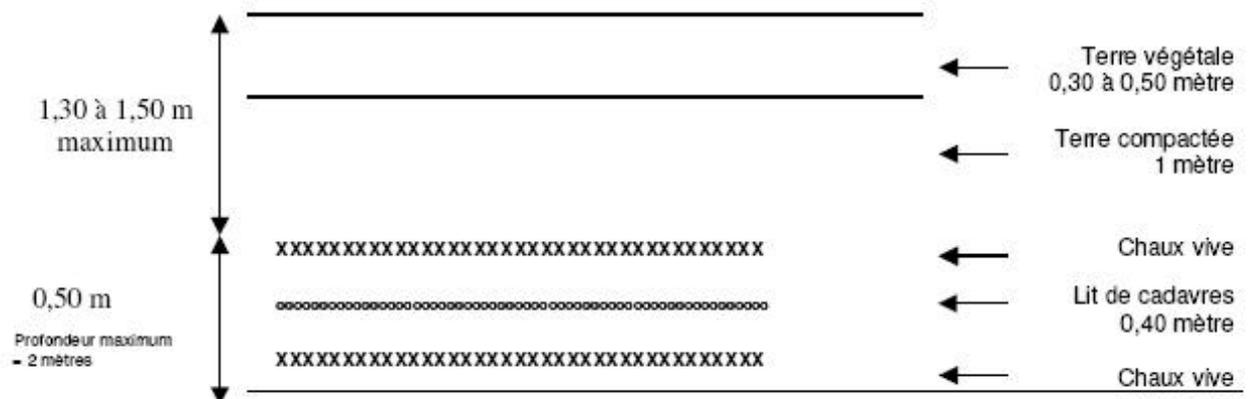
#### PRESCRIPTIONS POUR L'ENFOUISSEMENT EXCEPTIONNEL DES CADAVRES D'ANIMAUX

##### CHOIX DU SITE :

- Terrain horizontal ou avec une pente la plus faible possible et dans tous les cas inférieure strictement à 7 %, avec un terrain facile à creuser sur 2 mètres,
- Lors du creusement de la fosse, l'excavation doit être exempte de trace ou de venue d'eau (ou de signes indiquant d'éventuelles anciennes remontées d'eau),
- Exclure les fonds de vallées et autres zones humides ou inondables;
- Exclure les parcelles drainées,
- Respecter les servitudes publiques prévues au Plan d'Occupation des Sols ou au Plan Local d'Urbanisme (conduites d'eau ou de gaz, lignes électriques enterrées, autres réseaux...)
- Respecter une distance de 200 m des habitations, des puits ou forages privés, plans d'eau, cours d'eau, sources, plages et lieux de baignade,
- Respecter une distance de 500 m des zones conchylicoles et de pisciculture.

**Tout enfouissement est interdit dans les périmètres de protection immédiate et rapprochée des captages d'eau potable. A défaut de périmètres définis, une distance minimale de 300 m sera respectée**

##### MODALITES DE L'ENFOUISSEMENT : Fosse vue en coupe

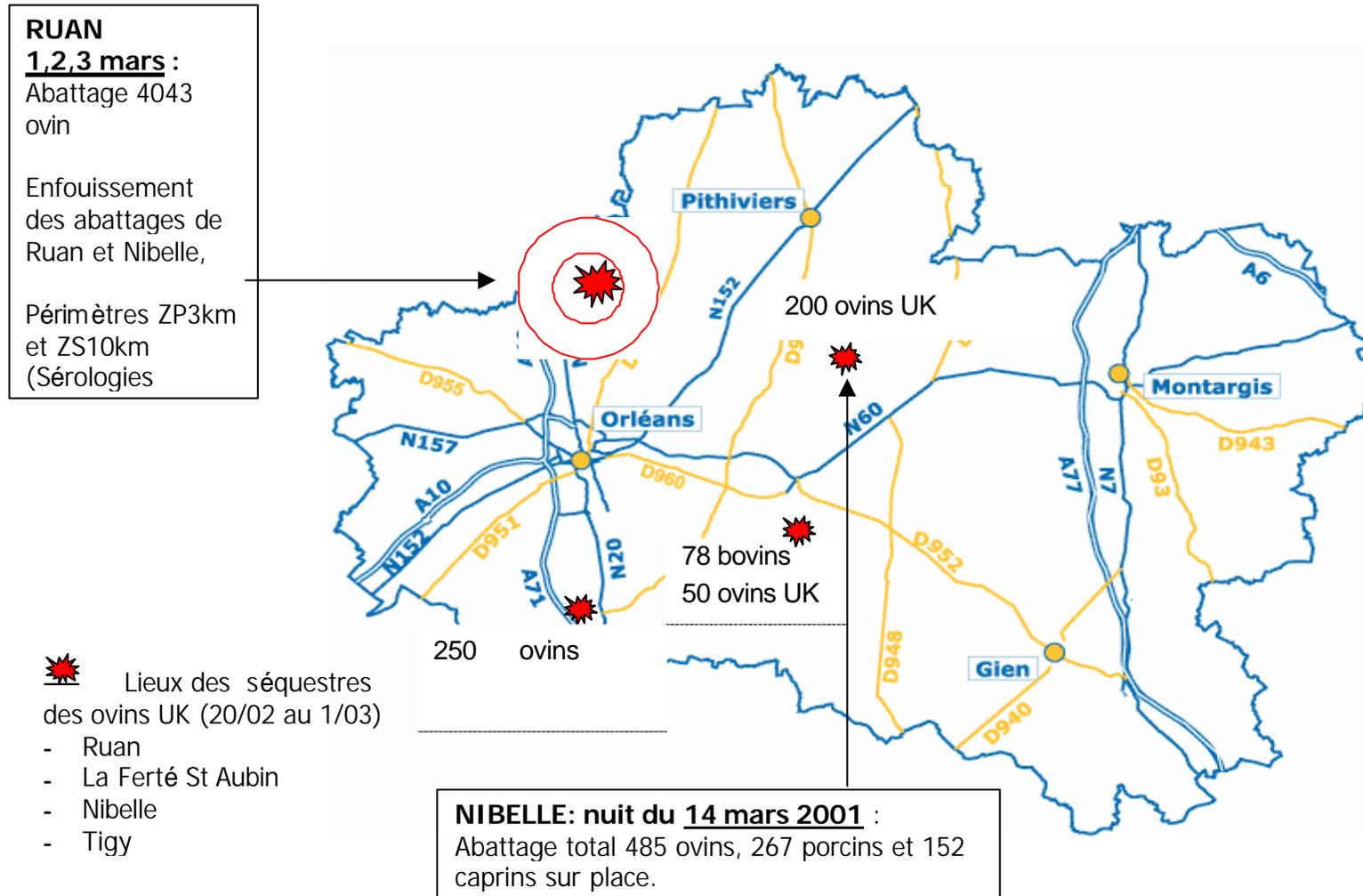


- ATTENTION :**
- ▶ Quantité de chaux vive : **au minimum** 1/10<sup>e</sup> du poids des cadavres, moitié au fond, moitié au-dessus des cadavres.
  - ▶ Manipulation de la chaux : Porter ciré, bottes, lunettes de protection et gants PVC. Prévoir solution bain d'œil en cas de projection. Rincer immédiatement à l'eau en cas de projection

##### DEVENIR DU SITE :

- ▶ L'emplacement sera répertorié précisément sur un extrait cadastral dont copie sera adressée par le Maire à la D.D.A.F. avec mention des quantités enfouies.
- ▶ L'emplacement sera matérialisé sur le terrain pendant une durée de 6 mois. A l'issue de ce délai, le terrain pourra être cultivé.
- ▶ Aucun terrassement ne pourra être réalisé sur le site d'enfouissement avant un délai de 5 ans.

## ANNEXE 4 : Carte géographique de la région d'Orléans et localisation du site d'enfouissement



## ANNEXE 5 : Suivi de la qualité de la nappe de Beauce

