



L'épidémie de Légionellose "Noroxo"

Evaluation du risque de légionellose

Méthodologie et application

Rapport adressé à

EDF Service de Santé

par la

Société de Calcul Mathématique SA

Leila Fontenay

Janvier 2013

Résumé opérationnel

L'épidémie de légionellose qui a été décelée dans la région de Lens, dans le Pas-de-Calais, entre novembre 2003 et janvier 2004 est la plus importante que la France ait connue depuis le signalement obligatoire de cette maladie en 1987 (Figure 1). On a comptabilisé 86 cas, dont 18 décès (21%).

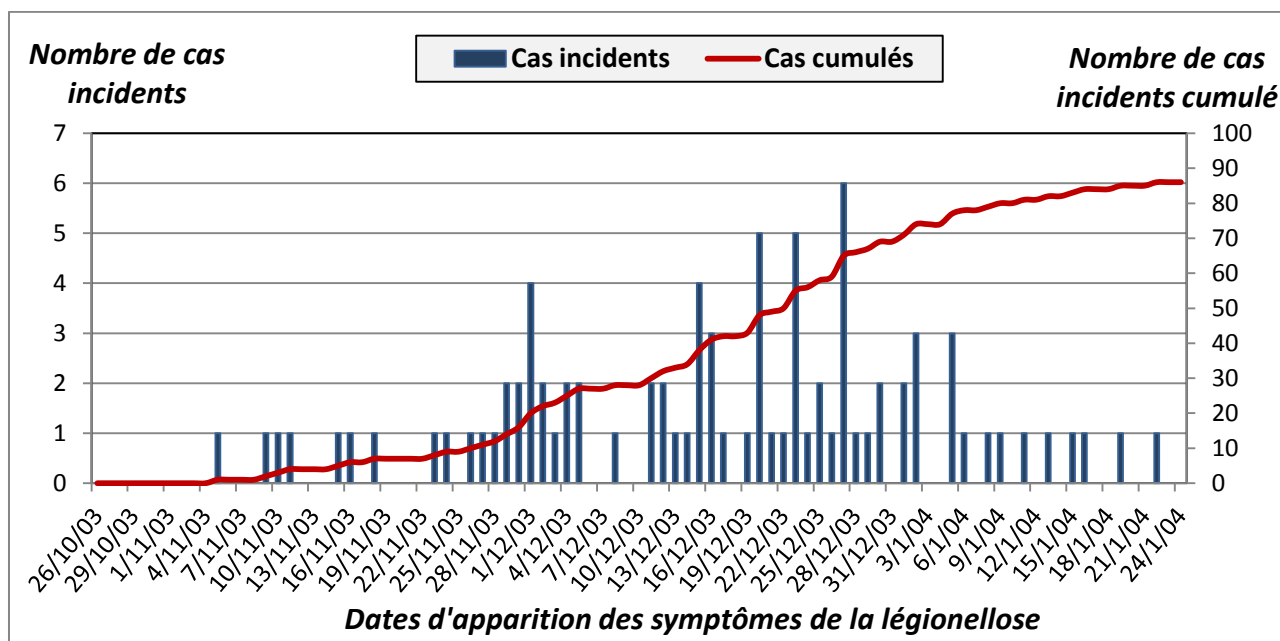


Figure 1 : Distribution temporelle des 86 cas de légionellose en fonction de la date d'apparition des symptômes

Un protocole d'investigation a été établi pour tenter de déterminer l'origine de cette contamination.

Une enquête environnementale a permis de recenser et contrôler toutes les sources potentielles de contamination afin d'identifier l'origine de la contamination : tours aéroréfrigérantes d'usine, lagune aérée d'usine, station de lavage de voiture ainsi que le nettoyage au Karcher des tours aéroréfrigérantes.

L'enquête microbiologique a permis de réaliser des prélèvements cliniques ainsi que des prélèvements environnementaux sur tous les sites investigués.

Les diverses enquêtes ont conclu à l'existence de deux vagues successives d'épidémie et d'une source de contamination persistante : une tour aéroréfrigérante située dans la commune de Harnes.

Sur la base des informations fournies par les investigations menées lors de cette épidémie, nous avons mis en place une méthode d'évaluation du risque potentiel de légionellose en utilisant des méthodes probabilistes.

1. Méthodologie

a. Description de la méthode utilisée

A partir de la distribution journalière des cas incidents d'une épidémie de légionellose, nous recherchons la date d'exposition potentielle en prenant en compte le délai d'incubation de la maladie modélisé par différentes lois de probabilité.

La période d'incubation de la maladie correspond au délai de 2 à 10 jours entre la contamination par la bactérie et l'apparition des premiers symptômes de la maladie.

Nous procédons alors à une analyse des installations à risque en déterminant, leur période de contamination et le nombre de malades pouvant être exposés à ces sources potentielles durant leur phase de fonctionnement.

Nous effectuons enfin une hiérarchisation des sources potentielles à l'aide d'un « scoring » de différents paramètres et selon les différentes hypothèses décrites ci-dessous.

b. Hypothèses prises en compte pour la hiérarchisation des sources

Cinq paramètres définissant les dangers des installations à risque et les expositions des malades sont utilisés pour réaliser la hiérarchisation des sources.

Ils sont respectivement divisés en plusieurs classes pondérées par des scores :

- Le flux de légionelles émis dans l'atmosphère pour chaque installation (5 classes).
- La durée d'émission des aérosols (5 classes).
- La capacité de dispersion des aérosols (4 classes).
- Le pourcentage de malade pouvant être exposés (5 classes)
- La possibilité d'agrégats (4 classes).

2. Résultats

Nous avons appliqué la méthodologie d'évaluation du risque de légionellose sur la base des données fournies par les rapports d'investigation de l'épidémie survenue dans le Nord-Pas-de-Calais.

a. Loi de probabilité de la date d'exposition

A partir de la distribution journalière des 86 cas de légionellose et du délai d'incubation de la maladie, nous avons construit la loi de probabilité de la date d'exposition à la bactérie pour l'ensemble des malades.

La date d'exposition correspond au jour où le malade a reçu une dose suffisante de légionelles pour déclencher l'apparition des symptômes après le délai d'incubation de la maladie.

La figure ci-après montre les résultats obtenus avec l'utilisation de deux lois de probabilité modélisant la durée d'incubation : une loi uniforme et une loi log-normale tronquée de minimum 2 jours et de maximum 10 jours.

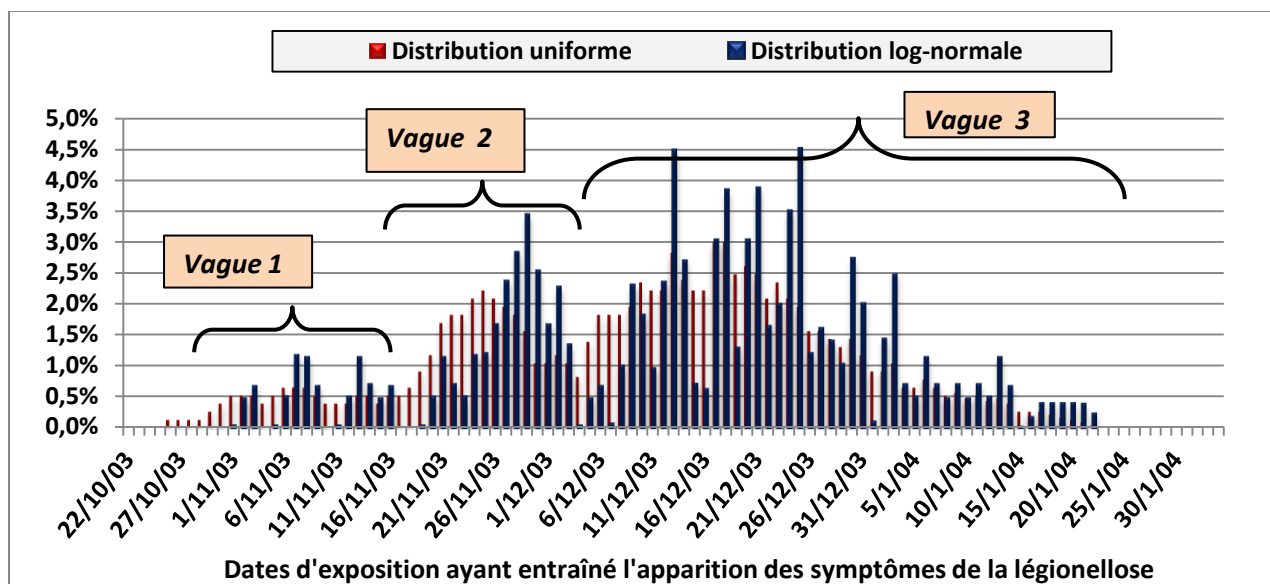


Figure 2 : Lois de probabilité de la date d'exposition potentielle

La distribution des jours potentiels d'exposition après prise en compte de la durée d'incubation fait apparaître clairement trois vagues successives dans l'épidémie.

b. Analyse des sources potentielles de contamination

Nous avons ensuite étudié toutes les installations industrielles contenant de l'eau contaminée et dispersant des aérosols : tours aéroréfrigérantes (TAR), impact du nettoyage des TAR au karcher haute pression, lagune aérée, station de lavage de véhicules.

Les principaux résultats de l'analyse des sources potentielles de contamination montre que :

- **65 %** (avec une loi uniforme) et **58 %** (avec une loi log-normale) des 86 cas de légionellose ont une probabilité non nulle d'avoir été exposés à la tour aéroréfrigérante.

Cela signifie donc que **35%** (avec une loi uniforme) et **42%** (avec une loi log-normale) des 86 cas de légionellose ont une **probabilité nulle** d'avoir été exposés aux aérosols durant le fonctionnement de la tour aéroréfrigérante.

- **100 %** (avec une loi uniforme et log-normale) des 86 cas de légionellose ont une probabilité non nulle d'avoir été exposés aux aérosols émis par les aérateurs de surface de la lagune.

c. Hiérarchisation des sources potentielles

Nous donnons ci-après le tableau récapitulatif des principaux résultats obtenus pour la hiérarchisation des sources potentielles de contamination.

Hypothèse a	<i>Prise en compte des quatre paramètres : flux de légionelles dans l'air, dispersion des aérosols, durée d'émission des aérosols et pourcentage de malades pouvant être exposés</i>			
Hypothèse b	<i>Hypothèse a + prise en compte de la possibilité d'agrégats</i>			
Scénario 1	<i>Contamination des eaux de la lagune proportionnellement aux apports de boues</i>			
Scénario 2	<i>Contamination des eaux de la lagune suivant une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues.</i>			
Sources	VAGUE 1 : Loi Uniforme (16 jours et 7 cas) et Log Normale (9 jours et 4 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	91%	50%	93,75%	60%
TAR	9%	50%	6,25%	40%
Sources	VAGUE2 Loi Uniforme (23 jours et 26 cas) et Log Normale (23 jours et 23 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	1%	0,1%	3%	0,1%
TAR	99%	99,9%	97%	99,9%
Sources	VAGUE 3 : Loi Uniforme (50 jours et 53 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	96,899%	96,899%	97,910%	97,910%
TAR	2,907%	2,907%	1,958%	1,958%
Karcher	0,097%	0,987%	0,131%	0,131%
Station de lavage	0,097%	0,001%	0,001%	0,001%
Sources	VAGUE 3 : Log Normale (50 jours et 59 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	96,126%	96,126%	97,99%	97,988%
TAR	2,884%	2,884%	1,96%	1,960%
Karcher	0,029%	0,029%	0,04%	0,039%
Station de lavage	0,961%	0,961%	0,01%	0,013%

Tableau 1 : Récapitulatif de la hiérarchisation des sources potentielles

A partir de la hiérarchisation des sources potentielles de contamination, nous proposons deux scénarios probables en fonction des deux hypothèses émises sur les niveaux de contamination des eaux de la lagune aérée.

La différence entre les deux scénarios repose sur les résultats obtenus pour la première vague d'épidémie.

A. Scénario 1

Le scénario 1 repose sur l'hypothèse d'une contamination des eaux de la lagune aérée proportionnellement aux apports de boues d'ensemencement.

Première vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable avec plus de **90 %** de risque quelque soit les hypothèses émises sur la prise en compte des paramètres. L'étude de cette source a en effet démontré que 100 % des 7 cas de cette première vague d'épidémie ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable avec plus de **95%de risque** quelque soit les hypothèses émises sur la prise en compte des paramètres.

Cependant l'étude de cette source a démontré que **12 % des 26 cas** (avec la loi Uniforme) de cette seconde vague d'épidémie ont une **probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Néanmoins la prise en compte d'une loi Log Normale démontre quant à elle que **100 % des 23 cas** de cette seconde vague d'épidémie ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés.

Troisième vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable avec plus de **97% de risque**.

L'étude de cette source a démontré que **100 % des cas** de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

B. Scénario 2

Le scénario 2 repose sur l'hypothèse d'une contamination des eaux de la lagune suivant une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues.

Première vague d'épidémie

La conjugaison des deux sources potentielles de contamination est l'origine de contamination la plus probable avec un risque potentiel cumulé à 100% avec :

- Lagune et TAR ayant respectivement **50% de risque potentiel** chacune sans prise en compte de la possibilité d'agrégats.
- Lagune ayant **60 % de risque potentiel** et TAR ayant **40 % de risque potentiel** en tenant compte de la possibilité d'agrégats.

L'étude de ces sources potentielles a démontré en outre que **100% des cas** de cette première vague d'épidémie ont une probabilité non nulle d'avoir été exposés à ces deux installations.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable (avec plus de **99% de risque potentiel**).

Cependant l'étude de cette source a démontré que 12 % (avec la loi Uniforme) des 26 cas de cette seconde vague d'épidémie ont **une probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Troisième vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable (près de **97% de risque potentiel** avec une loi Uniforme ou Log Normale).

L'étude de cette source a démontré que **100 % des cas** de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Données disponibles	14
2.1. La légionellose	14
2.2. Données disponibles	14
2.3. Synthèse des résultats d'investigation	15
3. Méthodologie générale	18
3.1. Etape 1 : Recensement des données	18
3.2. Etape 2 : Détermination de la loi de probabilité de la date d'exposition	18
3.3. Etape 3 : Choix du référentiel temporel	21
3.4. Etape 4 : Etude des sources potentielles de contamination	21
3.5. Etape 5 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination	28
4. Résultats	34
4.1. Etape 1 : Recensement des données disponibles	34
4.2. Etape 2 : Détermination de la loi de probabilité de la date d'exposition	34
4.3. Etape 3 : Choix du référentiel temporel	40
4.4. Etape 4 : Etude des sources potentielles de contamination	43
4.5. Etape 5 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination	69
5. ANNEXES	83

Table des illustrations

Liste des figures

<i>Figure 1 : Distribution temporelle des 86 cas de légionellose en fonction</i>	<i>2</i>
<i>Figure 2 : Lois de probabilité de la date d'exposition potentielle.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure 3 : Répartition du nombre de cas de légionellose suivant la date d'apparition des symptômes</i>	<i>15</i>
<i>Figure 3 : Distribution temporelle des 86 cas de légionellose en fonction de la date d'apparition des symptômes.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 4 : Fonctions de répartition de la date d'exposition en fonction du choix</i>	<i>38</i>
<i>Figure 5 : Lois de probabilité de la date d'exposition suivant une distribution</i>	<i>39</i>
<i>Figure 6 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 7 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7 avec la loi uniforme et pour n variant de 0 à 4 avec la loi log- normale) infectées en même temps au cours de la 1^{ère} vague d'épidémie</i>	<i>47</i>
<i>Figure 8 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps au cours de la 2^{ème} vague d'épidémie</i>	<i>48</i>
<i>Figure 9 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26 pour la loi uniforme et de 0 à 23 pour la loi log normale) infectées en même temps</i>	<i>49</i>
<i>Figure 10 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 32 pour la loi uniforme et de 0 à 16 pour la loi log normale) infectées en même temps.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 11 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 33 pour la loi uniforme et de 0 à 24 pour la loi log normale) infectées en même temps.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 12 : Histogramme cumulatif des apports de boues</i>	<i>59</i>
<i>Figure 13 : Histogramme de l'estimation des niveaux de contamination de la lagune.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 14 : Histogramme cumulatif de l'estimation niveau de contamination de la lagune ..</i>	<i>61</i>
<i>Figure 15 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7 pour la loi uniforme et de 0 à 4 pour la loi log normale) infectées en même temps</i>	<i>64</i>
<i>Figure 16 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26 pour la loi uniforme et de 0 à 23 pour la loi log normale) infectées en même temps.....</i>	<i>65</i>
<i>Figure 17 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 53 pour la loi uniforme et de 0 à 59 pour la loi log normale) infectées en même temps.....</i>	<i>66</i>
<i>Figure 18 : Loi de probabilité des dates d'exposition en fonction de la</i>	<i>84</i>
<i>Figure 19 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents.....</i>	<i>84</i>

<i>Figure 20 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents.....</i>	<i>86</i>
<i>Figure 21 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents.....</i>	<i>87</i>
<i>Figure 22 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de.....</i>	<i>89</i>
<i>Figure 23 : Fonctions de répartition de la date d'exposition.....</i>	<i>89</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Récapitulatif de la hiérarchisation des sources potentielles.....</i>	<i>5</i>
<i>Tableau 2 : Période d'incubation et probabilités associées pour trois dates possibles</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 3 : Période d'incubation et probabilités pour une date possible</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 4 : Tableau de conversion eau/air.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 5 : Tableau de conversion eau/flux de légionelles par type d'installation</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 6 : Nombre d'heures/jour de fonctionnement par type d'installation</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 7 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 19) infectées simultanément parmi les 19 cas exposés.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 8 : Facteur de dispersion des aérosols en fonction du type d'installation</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 9 : Hypothèses de possibilité d'agrégat en fonction du type d'installation</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 10 : Définition des classes et des scores pour le flux de légionelles.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 11 : Définition des classes et des scores pour les durées d'émission d'aérosols contaminés</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 12 : Définition des classes et des scores pour le facteur de dispersion des aérosols ...</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 13 : Estimation des taux d'agrégats par type d'installation.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 14 : Définition des classes et des scores pour les malades exposés</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 15 : Recensement de la période d'incubation pour chaque cas.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 16 : Récapitulatif de la durée et du nombre de malades au cours de chaque vague d'épidémie.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 18 : Chronologie de l'état des TAR.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 19 : Récapitulatif des durées de contamination de l'installation</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 20 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée à la source potentielle.</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 21 : Chronologie de l'état des TAR lors du nettoyage au karcher.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 22 : Récapitulatif des durées de contamination de l'installation</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 23 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée.....</i>	<i>52</i>

<i>Tableau 24 : Chronologie de l'état de la station de lavage</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 25 : Récapitulatif des durées de contamination de l'installation</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 26 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée.....</i>	<i>56</i>
<i>Tableau 27 : Chronologie des niveaux de contamination de la lagune</i>	<i>60</i>
<i>Tableau 28 : Chronologie des niveaux de contamination de la lagune</i>	<i>61</i>
<i>Tableau 29 : Récapitulatif des durées de contamination de la lagune.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau 30 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée à la lagune.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau 31 : Récapitulatif des durées de fonctionnement des sources potentielles de</i>	<i>67</i>
<i>Tableau 32 : Récapitulatifs de la répartition des malades exposés pour chaque source.....</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 33 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Uniforme</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 34 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Log Normale</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 35 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Uniforme.....</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 36 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Log Normale</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 37 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Uniforme</i>	<i>72</i>
<i>Tableau 38 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Log Normale</i>	<i>72</i>
<i>Tableau 39 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Uniforme.....</i>	<i>73</i>
<i>Tableau 40 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Log Normale</i>	<i>73</i>
<i>Tableau 41 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination.....</i>	<i>74</i>
<i>Tableau 42 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination.....</i>	<i>75</i>
<i>Tableau 43 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination.....</i>	<i>77</i>
<i>Tableau 44 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination.....</i>	<i>78</i>
<i>Tableau 45 : Récapitulatif de la hiérarchisation des sources potentielles.....</i>	<i>79</i>
<i>Tableau 46 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 47 : Probabilité pour trois dates d'apparition des symptômes</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 48 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 49 : Probabilité pour 3 dates d'apparition des symptômes.....</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 50 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes</i>	<i>86</i>
<i>Tableau 51 : Probabilité pour 3 dates d'apparition des symptômes.....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau 52 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes</i>	<i>88</i>
<i>Tableau 53 : Probabilité pour 3 dates d'apparition des symptômes.....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau 54 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi uniforme</i>	<i>91</i>

<i>Tableau 55 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 4) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi log normale.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 56 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi uniforme</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 57 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi log normale</i>	<i>93</i>
<i>Tableau 58 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme.....</i>	<i>94</i>
<i>Tableau 59 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale</i>	<i>95</i>
<i>Tableau 60 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 32) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme.....</i>	<i>96</i>
<i>Tableau 61 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 16) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale</i>	<i>97</i>
<i>Tableau 62 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 33) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme.....</i>	<i>98</i>
<i>Tableau 63 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 24) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale</i>	<i>99</i>
<i>Tableau 64 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi uniforme</i>	<i>100</i>
<i>Tableau 65 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 4) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi log normale.....</i>	<i>100</i>
<i>Tableau 66 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi uniforme</i>	<i>101</i>
<i>Tableau 67 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi log normale</i>	<i>102</i>
<i>Tableau 68 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme.....</i>	<i>104</i>
<i>Tableau 69 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 59) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale</i>	<i>105</i>

Liste des annexes

<i>Annexe 1 : Analyse de sensibilité.....</i>	<i>83</i>
<i>Annexe 2 : Résultats pour les TAR.....</i>	<i>91</i>
<i>Annexe 3 : Résultats pour le Karcher.....</i>	<i>96</i>
<i>Annexe 4- Résultats pour la station de lavage.....</i>	<i>98</i>
<i>Annexe 5- Résultats pour la lagune aérée</i>	<i>100</i>

1. Introduction

Les légionelles sont des bactéries présentes dans tous les milieux aquatiques, naturels ou artificiels, et qui peuvent provoquer chez l'homme différentes maladies, appelées légionelloses. Celles-ci apparaissent principalement sous deux formes : fièvre de Pontiac (infection bénigne) et pneumopathie aiguë (légionellose typique). Elles trouvent leur origine dans l'inhalation d'aérosols en provenance d'eaux contaminées.

Le caractère non spécifique des symptômes rend le diagnostic particulièrement difficile et empêche le recensement des cas.

Les principales sources de contamination sont les circuits de distribution d'eau chaude, les systèmes de climatisation, les tours aéroréfrigérantes, les circuits de refroidissement industriel, les eaux thermales, les bassins et fontaines.

Les légionelles concernent donc spécifiquement EdF à cause des risques sanitaires liés aux possibles proliférations dans l'eau des tours aéroréfrigérantes des centrales nucléaires. Ces tours (qui sont de grande hauteur) ne sont pas soumises aux mêmes réglementations que les ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement).

L'objectif de ce rapport est de proposer une méthode d'évaluation du risque potentiel de légionellose en prenant en compte des facteurs liés au fonctionnement de l'installation et sous certaines hypothèses, de proposer une hiérarchisation des sources potentielles de contamination.

Les données utilisées pour l'étude sont celles de la plus importante épidémie de légionellose survenue en France dans la région de Lens, dans le Pas-de-Calais, entre novembre 2003 et janvier 2004 depuis le signalement obligatoire de cette maladie en 1987. Elle a comptabilisé 86 cas dont 18 décès.

Ce document se décompose comme suit :

- Dans une première partie, nous présentons les données disponibles et la synthèse des principaux résultats issue des rapports d'investigation.
- Dans une seconde partie, nous développons les étapes de la méthodologie générale permettant la hiérarchisation des sources potentielles de contamination et explicitons les hypothèses prises en compte.
- Enfin, nous appliquons dans la troisième partie de ce rapport la méthode d'évaluation du risque sur les données disponibles de l'épidémie de légionellose survenue dans la région de Lens.

2. Données disponibles

Ce paragraphe présente les données disponibles et les conclusions des différentes enquêtes menées par les services ayant étudié l'épidémie communautaire de légionellose dans le Pas-de-Calais entre novembre 2003 et janvier 2004.

2.1. La légionellose

La légionellose est une infection respiratoire due à des bactéries appelées les *legionella pneumophila* se développant dans l'eau douce entre 20 et 48 degrés. Deux formes d'infection sont connues : l'une à caractère bénin appelée aussi fièvre de Pontiac qui disparaît sans traitement en 2 à 5 jours, l'autre une infection pulmonaire grave qui entraîne le décès dans un peu plus de 10 % des cas. La légionellose n'est pas une maladie contagieuse.

A l'origine, la contamination s'effectue par inhalation d'aérosols d'eau contaminée.

La transmission se fait par de fines gouttelettes d'eau ou aérosols (d'une taille inférieure à 5 micromètres) contenant les bactéries.

Les principales sources de légionelles sont les réseaux d'eau chaude sanitaire (douches, bains à remous...) et les systèmes de refroidissement par voie humide comme les tours aéroréfrigérantes.

Les mécanismes de propagation et de contamination sont encore mal connus. Il existe des modèles d'évaluation du risque lié à l'exposition à des légionelles, mais le manque de données sur les risques humains ne permet pas une validation correcte.

2.2. Données disponibles

Les informations disponibles pour cette étude sont les suivantes :

- Un premier rapport intitulé "*Epidémie communautaire de légionellose –Pas-de Calais – France-Novembre 2003- Janvier 2004-Rapport d'investigation*".

Ce rapport fait la synthèse de l'ensemble des résultats obtenus par les différents services engagés lors de l'investigation de l'épidémie. Il détermine la source de contamination la plus probable à l'origine de l'épidémie.

- Un second rapport intitulé "*Epidémie de légionellose dans le Pas-de-Calais*"-Novembre 2003- Janvier 2004-Rapport de la mission d'appui".

Ce rapport examine et commente les méthodes utilisées pour les investigations épidémiologiques et environnementales et les modélisations effectuées.

Il fournit des compléments d'informations aux principaux résultats décrits dans le rapport d'investigation.

- Un troisième rapport intitulé "*Epidémie de légionellose dans le Pas-de-Calais*"-Novembre 2003- Janvier 2004-Rapport de gestion". Ce rapport constitue un retour d'expérience des services suite à cette épidémie.

2.3. Synthèse des résultats d'investigation

Entre le 5 novembre 2003 et le 22 janvier 2004, 86 cas confirmés de légionellose à "*Legionella pneumophila* sérogroupe 1" dont 18 décès sont survenus dans la région du Pas-de-Calais.

La répartition des 86 malades suivant la date d'apparition de début des symptômes est donnée dans l'histogramme ci-dessous :

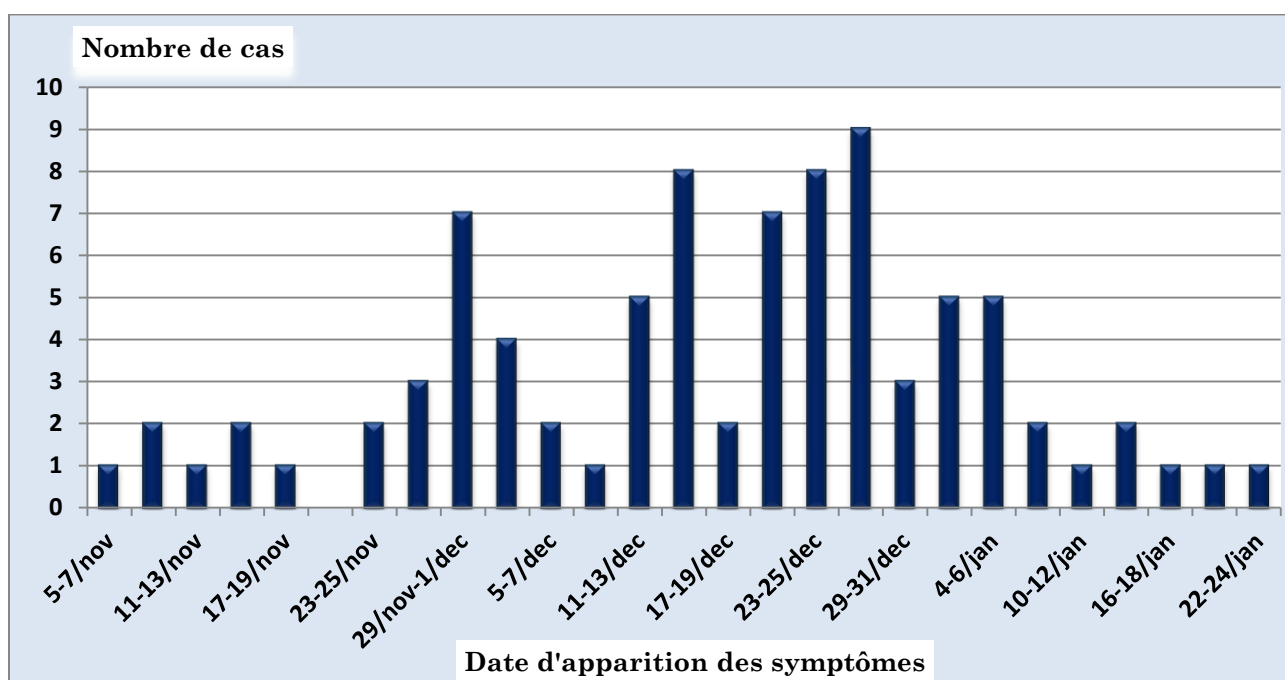


Figure 3 : Répartition du nombre de cas de légionellose suivant la date d'apparition des symptômes

Cette épidémie s'est principalement propagée dans 23 communes.

– L'enquête épidémiologique

L'enquête épidémiologique a été réalisée par la Ddass (Direction départementale des affaires sanitaires et sociales) et la CIRE (Cellule de l'INVS régionale d'épidémie Nord). Réalisée sous forme d'un questionnaire standardisé, elle recense les 86 cas confirmés de légionellose à "*Legionella pneumophila* sérogroupe 1" survenus entre le 5 novembre 2003 et le 22 janvier 2004.

Les principaux résultats fournis par cette enquête sont les suivants :

- La répartition du nombre de cas de légionellose selon la date de début des symptômes suggère l'existence de deux vagues successives et d'une source de contamination persistante.
- 97 % des malades résidaient dans une zone de 12 km autour de la commune de Harnes, ce qui correspond à 3,9 cas pour 10 000 habitants.
- La répartition des malades suivant le sexe est de 60% d'hommes et 40% de femmes.
- L'âge médian est de 75,5 ans.
- Les quatre principaux facteurs individuels ayant pu favoriser la survenue de la légionellose sont : la consommation d'alcool (51% des malades), les maladies cardio-vasculaires (51%), le tabagisme (34% des malades) et la silicose (20 % des malades).
- L'enquête analytique de type cas-témoins a porté sur 59 cas et 177 témoins. Elle conclut à l'existence de trois facteurs de risque significativement associés à la survenue de la maladie : la silicose, le tabagisme et le fait d'avoir été exposé plus de 100 minutes par jour à l'air extérieur.

– Les enquêtes environnementales

Les enquêtes environnementales ont été menées par la Drire (Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement).

Elles ont donné lieu à plus d'un millier de prélèvements pour recherche de légionelles dans différentes sources potentielles de contamination (domiciles des malades, hôpitaux, lieux de travail, établissements recevant du public, stations d'épuration, réseaux publics d'eau potable, sites industriels à risque (33 entreprises exploitant une ou plusieurs tours aérofrigorantes (TAR)) et en particulier le site industriel de l'usine Noroxo.

L'étude de l'historique de surveillance des légionelles dans l'entreprise Noroxo a montré l'existence d'épisodes de contamination élevée du circuit des TAR, malgré les mesures de désinfection mises en œuvre par l'entreprise tout au long de l'épidémie. Les recherches effectuées dans les établissements recevant du public se sont révélées négatives.

– L'enquête microbiologique

L'enquête microbiologique a été supervisée par le CNRL (Centre nationale de référence de légionelles).

Elle confirme le diagnostic d'une contamination d'une souche isolée (*légiionella pneumophila* de serogroupe 1 de même profil génomique) pour 23 cas qui ont été associés à une même souche épidémique (soit 27 % des 86 cas recensés lors de l'enquête épidémiologique).

La souche épidémique isolée dans les souches humaines a été comparée à 253 souches environnementales récoltées sur les différentes sources potentielles de contamination.

3. Méthodologie générale

Ce chapitre développe les cinq étapes de la méthodologie de hiérarchisation des sources potentielles de contamination susceptibles d'être à l'origine d'une épidémie de légionellose.

3.1. Etape 1 : Recensement des données

Deux types de données sont nécessaires à l'application de la méthodologie :

a) Les dates d'apparition des premiers symptômes de la légionellose de l'ensemble des malades.

Ces données sont fournies par une courbe épidémique journalière ou tri-journalière qui donne le nombre de cas de légionellose en fonction du temps.

b) L'historique des prélèvements environnementaux effectués sur diverses installations industrielles à risque.

Ces informations sont fournies par les enquêtes environnementales et correspondent à des relevés ponctuels à une date donnée et renseignent sur le niveau de contamination de différentes sources potentielles de contamination.

3.2. Etape 2 : Détermination de la loi de probabilité de la date d'exposition

La détermination de la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraîné l'apparition des symptômes de la maladie est obtenue à partir de :

a) La distribution de la date d'apparition des symptômes de la maladie associée à l'ensemble des cas de l'épidémie.

b) Le délai d'incubation de la maladie qui correspond au délai entre la contamination et l'apparition des premiers symptômes. Il est de 2 à 10 jours avant la date de début des signes dans le cas de la légionellose.

La détermination de la période d'incubation de la maladie associée à chaque malade peut s'effectuer de deux façons suivant que l'on dispose d'une distribution tri-journalière ou journalière.

Nous détaillons ci-après la méthode pour les deux calculs possibles du délai d'incubation de la maladie à l'aide d'un exemple numérique.

La distribution du délai d'incubation de la maladie est dans cet exemple une répartition uniforme.

- *Pour un choix entre 3 dates possibles d'apparition des symptômes (distribution tri-journalière)*

Les 3 dates possibles d'apparition des premiers symptômes sont par exemple les 26, 27 et 28 novembre 2003 avec une probabilité de 1/3 chacune ;

La période d'incubation pour chaque date possible est de 2 à 10 jours avec une probabilité uniforme de 1/9 (11%) par jour. Nous obtenons donc 3 périodes d'incubation pour les 3 dates possibles d'apparition des symptômes.

Le délai d'incubation en fonction des 3 dates possibles est obtenu par une loi de probabilité conditionnelle de la façon suivante : on somme les probabilités de chaque jour identique aux 3 périodes d'incubation sachant que les 3 dates d'apparition des symptômes ont une probabilité de 1/3 chacune.

Dans le cas de cet exemple, nous obtenons les résultats donnés dans le tableau ci-après :

Date de chaque jour du délai d'incubation	Probabilité par jour pour la date du 26/11/2003	Probabilité par jour pour la date du 27/11/2003	Probabilité par jour pour la date du 28/11/2003	Probabilité par jour pour la période d'incubation totale
16/11/2003	11%	0%	0%	4%
17/11/2003	11%	11%	0%	7%
18/11/2003	11%	11%	11%	11%
19/11/2003	11%	11%	11%	11%
20/11/2003	11%	11%	11%	11%
21/11/2003	11%	11%	11%	11%
22/11/2003	11%	11%	11%	11%
23/11/2003	11%	11%	11%	11%
24/11/2003	11%	11%	11%	11%
25/11/2003	0%	11%	11%	7%
26/11/2003	0%	0%	11%	4%

Tableau 2 : Période d'incubation et probabilités associées pour trois dates possibles

- *Pour un choix d'une seule date possible d'apparition des symptômes (distribution journalière)*

Une seule date possible d'apparition des premiers symptômes est par exemple le **1^{er} décembre 2003 avec une probabilité de 1** ;

La période d'incubation est de 2 à 10 jours avant le 1^{er} décembre avec une probabilité uniforme de 1/9 par jour.

Dans le cas de cet exemple, nous obtenons les résultats donnés dans le tableau ci-après :

Date de chaque jour du délai d'incubation	Probabilité par jour pour la période d'incubation du 01/12/2003
21/11/2003	11%
22/11/2003	11%
23/11/2003	11%
24/11/2003	11%
25/11/2003	11%
26/11/2003	11%
27/11/2003	11%
28/11/2003	11%
29/11/2003	11%
30/11/2003	0%
01/12/2003	0%

Tableau 3 : Période d'incubation et probabilités pour une date possible

Remarque : Dans cet exemple, nous avons pris en compte une loi uniforme pour le délai d'incubation de la maladie. Mais si une autre répartition est choisie pour la distribution du délai d'incubation de la maladie (répartition triangulaire, log normale par exemples), il suffit de modifier les probabilités associées à chaque jour de la période d'incubation.

c) Loi de probabilité de la date d'exposition de la maladie

A partir de l'ensemble des délais d'incubation associés aux malades d'une épidémie, nous construisons loi de probabilité de la date d'exposition à la bactérie pour l'ensemble des cas.

La date d'exposition correspond au jour où le malade a reçu une dose suffisante de légionelles pour déclencher l'apparition des symptômes après le délai d'incubation de la maladie.

Le calcul de la probabilité d'une date d'exposition donnée est formalisé par l'équation suivante :

$$P_{date_exposition} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)$$

Avec :

$P_{date_exposition}$: Probabilité de la date d'exposition associée à l'ensemble des malades ;

N : Nombre total de cas infectés ;

p_i : Probabilité de la date d'exposition associée au $i^{\text{ème}}$ cas de légionellose.

La loi de probabilité de la date d'exposition potentielle constitue un reflet de la dynamique de l'épidémie. Elle permet en effet de visualiser le début, le maximum et la fin des expositions potentielles et voir ainsi si plusieurs vagues d'épidémie se sont succédées.

3.3. Etape 3 : Choix du référentiel temporel

Pour l'étude quantitative des données, nous définissons un référentiel temporel qui dépend de la distribution des jours potentiels de contamination.

- **Cas où aucune vague successive n'est identifiée dans la distribution de la date d'exposition**

Le référentiel temporel est défini de façon générale entre la date de début et de la date de fin des expositions potentielles de l'ensemble des cas incidents de légionellose.

Il peut être décomposé en plusieurs périodes définies respectivement par :

- une date de début et de fin des expositions ;
- une durée en jours ;
- un nombre de cas incidents.

- **Cas où plusieurs vagues successives sont identifiées dans la distribution de la date d'exposition**

Le référentiel temporel doit être décomposé suivant chaque vague successive d'épidémie en prenant en compte pour chacune d'elles :

- une date de début et de fin des expositions ;
- une durée en jours ;
- un nombre de cas incidents.

3.4. Etape 4 : Etude des sources potentielles de contamination

Sur la base des informations fournies par les enquêtes environnementales, cette étape consiste à étudier toutes les sources potentielles de contamination susceptibles d'être à l'origine de l'épidémie de légionellose.

a) Recensement des installations à risque

Le recensement des installations à risque consiste à répertorier toutes les installations industrielles susceptibles de contenir de l'eau contaminée, dispersant des aérosols et ayant

fonctionnées entre le début et la fin des expositions des malades données par la loi de probabilité de la date d'exposition.

Des exemples de sources potentielles sont les suivants :

- tours aéroréfrigérantes ;
- Karcher haute pression utilisé pour le nettoyage des tours aéroréfrigérantes et permettant la remise en suspension de dépôt de biofilm ;
- lagune aérée ;
- station de lavage de véhicules.

b) Etude des sources potentielles

L'étude de chaque source potentielle de contamination s'effectue en fonction des quatre indicateurs suivants :

1. Niveaux de contamination de la source potentielle de contamination.
2. Nombre de malades pouvant être exposés à la source potentielle de contamination durant de l'épidémie.
3. Périodes de contamination de la source potentielle de contamination en fonction de ses phases d'arrêt ou de fonctionnement
4. Probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps au cours de l'épidémie.

1. Niveaux de contamination de la source potentielle de contamination

– Hypothèses prises en compte sur les prélèvements environnementaux

L'historique des prélèvements environnementaux permet d'établir une chronologie de l'état des installations industrielles fournissant durant les périodes d'exposition des malades (délai d'incubation de la maladie) les informations suivantes :

- Les niveaux de contamination de la source potentielle en fonctionnement dépendent de la contamination initiale dans l'eau (en Unité Formant Colonie par litre) et du flux d'eau sous forme d'aérosols entraîné par l'installation.

Remarque : l'unité UFC/l sert à mesurer les résultats d'analyses de légionelles. Plus le résultat est grand, plus l'eau est contaminée.

- Les périodes d'arrêt et/ou de fonctionnement des sources potentielles.

Lorsque plusieurs résultats de prélèvements sont donnés pour une même date, nous prenons pris en compte le dénombrement en légionelles le plus élevé.

Cependant, pour une recherche spécifique de contamination en légionelles, on ne tiendra compte que des niveaux de contamination contenant un type de « *Legionella pneumophila* » particulière ou contenant une souche épidémique isolée.

– ***Hypothèses prises en compte pour le passage des légionelles de l'eau à l'air***

A partir des résultats de prélèvements fournis en dénombrement en légionelles, nous procédons à deux types de conversion : une conversion eau/air et une conversion eau/flux de légionelles dans l'atmosphère.

- *Concernant la conversion eau/air*

De façon générale, la conversion eau/air donne lieu à un facteur 10^{-4} pour le passage d'une concentration dans l'eau à une concentration dans l'air.

Le tableau ci-après fournit les références bibliographiques et le type d'installation concernée pour ce calcul.

	TAR		DOUCHE	
Conversion eau/air	Eau Lp UFC/l	Air Lp UFC/m ³	Eau Lp UFC/l	Air Lp UFC/ m ³
Référence : Breiman et al., 1990	10 ⁷	2300		
Référence : Dennis et al., 1984			10 ³	0.2 à 0.4
Installations	TAR, Lagune aérée, Karcher		Station de lavage des véhicules	

Tableau 4 : Tableau de conversion eau/air

- *Concernant la conversion eau/flux de légionelles dans l'atmosphère*

Le flux de légionelles émis dans l'atmosphère dépend des caractéristiques de la source potentielle de contamination.

Le tableau ci-après fournit pour chaque type d'installation la base du calcul de la conversion eau/flux de légionelles dans l'atmosphère.

Installations	Caractéristiques	Contamination (UFC/l)	Flux légionelles (UFC/s)	Commentaires
Lavage voiture	karcher 500 l/h	1600	200	Tout le flux part en aérosol
Karcher	500 à 1500 l/h Hth : Remise en suspension correspondant à 5 à 10 % du débit	100 000	700 à 4 000	On considère une remise en suspension correspondant à 5 à 10 % du débit
TAR	2 * 90 l/h Emission en aérosols	100 000	5 000	Emission d'aérosols
Lagune (base calcul screen 3 inverse à partir des concentrations air du 14/01/04)	40 UFC/s/m ² 2600 m ²	Environ 2 10 ⁸	100 000	Basé sur une modélisation inverse avec Screen 3 à partir des concentrations air mesurées le 14/01/04

Tableau 5 : Tableau de conversion eau/flux de légionelles par type d'installation

– Hypothèses prises en compte sur le niveau de contamination

A partir de ces résultats donnés à des dates précises, nous déterminons le minimum, le maximum ainsi que la moyenne des niveaux de contamination des sources potentielles.

Ces résultats sont donnés pour la durée totale des expositions des malades au cours d'une épidémie ou sur chaque vague successive d'une épidémie.

2. Périodes de contamination de la source potentielle

Durant leurs phases de fonctionnement et donc d'émission des aérosols, nous déterminons les durées de contamination des installations à risque.

Pour cela, nous déterminons :

- les durées de contamination en nombre de jours de chaque installation à risque ;
- leur proportion relativement à la durée totale des expositions durant l'épidémie ou au cours de chaque vague de l'épidémie.

– *Hypothèse prises en compte pour la durée journalière d'émission des aérosols*

Pour chaque type d'installation, la durée d'émission d'aérosols est calculée en fonction du nombre d'heures journalière de fonctionnement.

Installations	Nombre d'heures de fonctionnement /jour
Lavage voiture	8h
Karcher	12h
TAR	24h
Lagune	24h

Tableau 6 : Nombre d'heures/jour de fonctionnement par type d'installation

3. Nombre de malades pouvant être exposés à la source potentielle de contamination durant leur délai d'incubation

Les dates d'exposition durant le délai d'incubation de la maladie des malades permettent d'identifier la proportion de malades pouvant être exposés aux aérosols durant les phases de fonctionnement de chaque installation à risque.

Pour cela, nous déterminons :

- le nombre de malades dont les dates d'exposition durant le délai d'incubation de la maladie coïncident avec les périodes d'émissions d'aérosols de chaque source potentielle de contamination.
- leur proportion relativement au nombre total de cas de l'épidémie ou au nombre de cas de chaque vague de l'épidémie.

4. Probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps au cours de chaque vague d'épidémie

Pour affiner l'étude des expositions des malades durant une période de contamination, nous déterminons la probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps durant l'épidémie ou au cours de chaque vague de l'épidémie.

La probabilité conjointe correspond à la probabilité qu'un nombre n de malades parmi un nombre N maximal possible soient infectés en même temps.

Les étapes de la méthodologie à l'aide d'un exemple numérique sont les suivantes :

Nous déterminons la probabilité pour que n malades (n variant de 0 à 19 par exemple) parmi les 19 cas possibles soient infectés en même temps.

- **Etape 1 :** Pour une période de contamination du site industriel donnée, nous associons à chaque malade sa probabilité d'exposition qui correspond à la somme des probabilités de chaque jour du délai d'incubation.

Ensuite, en prenant dans le tableau ci-dessous l'exemple $n = 4$ malades définis par leur probabilité d'exposition respective à une période donnée, nous effectuons les étapes suivantes :

- **Etape 2 :** Nous calculons la probabilité de l'évènement "les 4 malades sont infectés en même temps durant une période donnée" correspondant au produit des probabilités respectives de ces 4 cas.

Elle est égale à $5,6.10^{-5}$ dans le cas de notre exemple (voir tableau ci-dessous).

- **Etape 3 :** Ensuite, nous déterminons le nombre de combinaisons de 4 malades parmi les 19 cas possibles.

Elle est égale à 3 876 combinaisons dans le cas de notre exemple (voir tableau 14 ci-dessous).

- **Etape 4 :** Enfin, nous calculons la probabilité d'avoir 4 personnes infectées en même temps correspondant au produit suivant :

$$\text{Probabilité de l'évènement} \times \text{Nombre de combinaisons de l'évènement}$$

Elle est égale à 21,962 % dans le cas de notre exemple (voir tableau ci-dessous).

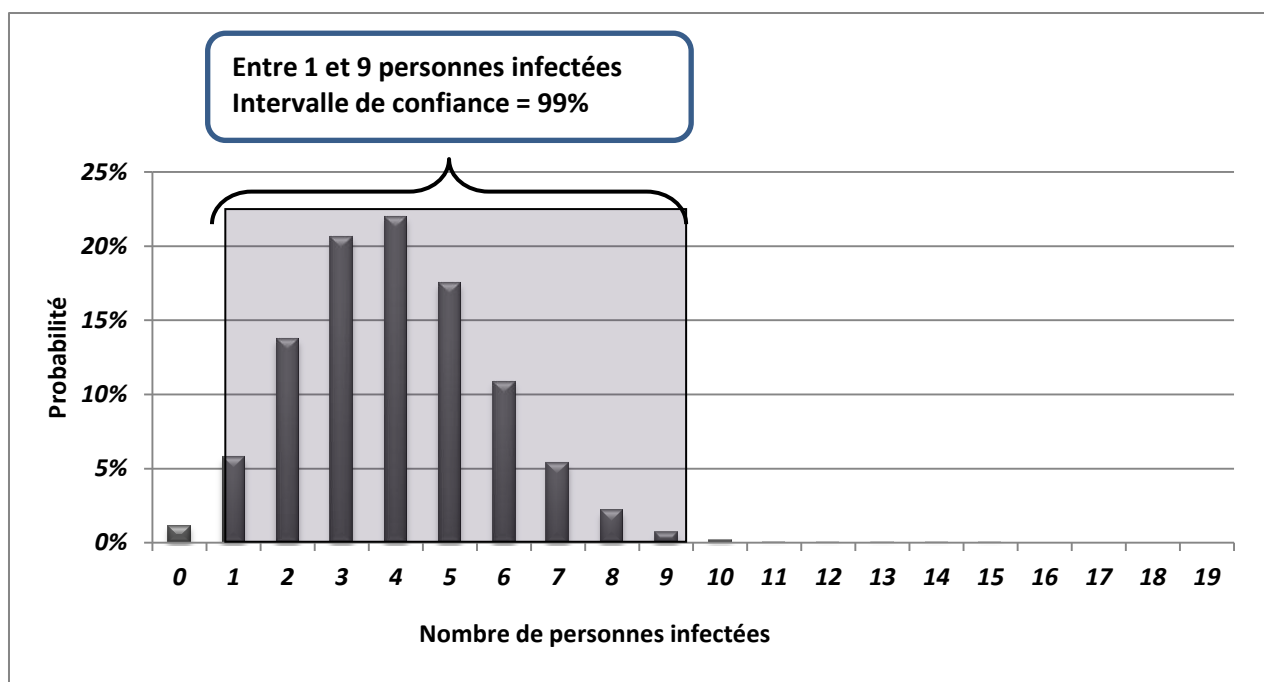
En revanche probabilité d'avoir 19 personnes infectées en même temps est nulle.

L'ensemble des résultats obtenus pour l'étude de la probabilité d'avoir n personnes infectées en même temps (pour n variant de 0 à 19) est détaillé dans le tableau suivant :

Nombre de personnes infectées	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	0,01134788	1	1,135%
1	0,003016525	19	5,731%
2	0,000801861	171	13,712%
3	0,000213153	969	20,655%
4	5,66609.10⁻⁵	3876	21,962%
5	1,50618E-05	11628	17,514%
6	4,00376E-06	27132	10,863%
7	1,06429E-06	50388	5,363%
8	2,82913E-07	75582	2,138%
9	7,52046E-08	92378	0,695%
10	1,99911E-08	92378	0,185%
11	5,31409E-09	75582	0,040%
12	1,41261E-09	50388	0,007%
13	3,75503E-10	27132	0,001%
14	9,98172E-11	11628	0,000%
15	2,65337E-11	3876	0,000%
16	7,05326E-12	969	0,000%
17	1,87492E-12	171	0,000%
18	4,98396E-13	19	0,000%
19	1,32485E-13	1	0,000%

Tableau 7 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 19) infectées simultanément parmi les 19 cas exposés

A partir de ce tableau, nous construisons l'histogramme représenté ci-dessous de la loi de probabilité d'avoir un nombre n de personnes infectées par la source potentielle de contamination (pour n variant de 0 à 19 cas) parmi les 19 cas possibles.



Exemple de Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 19) infectées en même temps entre le 28/11/2003 et le 01/12/2003

3.5. Etape 5 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

De façon générale, le risque de contamination par une source potentielle résulte de la conjonction entre un danger et une exposition.

Nous procédons dans l'étape 4 de la méthodologie à la hiérarchisation des sources potentielles de contamination à l'aide d'un scoring de différents paramètres et selon différentes hypothèses.

a. Hypothèses prises en compte pour la hiérarchisation des sources

1. Choix des paramètres pour le calcul de risque

Les paramètres pris en compte sont ceux qui définissent les dangers et les expositions.

– Pour les dangers

Les dangers correspondent aux caractéristiques des sources potentielles de contamination susceptibles d'avoir eu des effets nuisibles sur la population.

La composante des dangers comprend les quatre paramètres suivants :

- Le flux de légionelles émis dans l’atmosphère suivant les caractéristiques des installations à risque.

Ce paramètre est défini dans l’étude des niveaux de contamination des sources potentielles (Etape 3 de la méthodologie).

- La durée d’émission d’aérosols contaminés.

Ce paramètre est défini dans l’étude des périodes de contamination des sources potentielles (Etape 3 de la méthodologie).

- Le facteur de dispersion des aérosols.

Ce paramètre dépend de la vitesse d’éjection du panache d’aérosols ainsi que de la hauteur des installations .en fonction du type d’installation.

Il a été fixé de façon empirique en fonction du type d’installation comme indiqué dans le tableau ci-après :

Installations	Capacité de dispersion des aérosols
Lagune	1
Karcher haute pression	10
Tour aéroréfrigérante	100
Station de lavage de véhicules	1000

Tableau 8 : Facteur de dispersion des aérosols en fonction du type d’installation

- La possibilité d’agrégats.

Ce paramètre prend en compte la capacité des bactéries à former des agrégats postulant que ce phénomène participe à l’accrochage des légionelles dans les biofilms favorisant la survie des légionelles.

Chaque agrégat multiplie aussi par 150 le risque de survenue de la légionellose puisque le sujet exposé inhale 150 légionelles contenues approximativement dans un agrégat au lieu d’une seule.

La formation de biofilm est influencée par de nombreux facteurs liés à la structure des installations ou aux caractéristiques de l’eau.

Le tableau ci-après donne les hypothèses effectuées sur la possibilité d’agrégat et leur possible remise en suspension dans l’atmosphère en fonction des installations à risque prises en compte :

Installations	Agrégats	Probabilité d'agrégat	Commentaires
Lavage voiture	+/-	Peu probable	Aérosols sous forme de très fines gouttelettes d'eau
TAR	+	Probable	Dépôt et développement bactériologique après évaporation des eaux
Lagune	++	Très probable	Possibles agrégats favorisés par le mouvement des aérateurs de surface permettant de nourrir et d'oxygéner les minces biofilms à la surface
Karcher	+++	Sûre	Décrochage des boues de biofilms lors du nettoyage à haute pression

Tableau 9 : Hypothèses de possibilité d'agrégat en fonction du type d'installation

– Pour les expositions

Le paramètre pris en compte traduit le potentiel réel d'exposition des malades aux différentes sources étudiées.

La composante des expositions comprend un paramètre :

- le pourcentage de malades par rapport au nombre total de cas incidents de légionellose au cours de chaque vague pouvant être exposés et susceptibles d'avoir été infectés par les sources potentielles durant les périodes d'émissions d'aérosols contaminés.

2. Détermination des classes et des scores pour chaque paramètre

– Pour le flux de légionelles dans l'atmosphère

Les classes de quantité de flux de légionelles pondérées par des scores sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Classes de flux de légionelles	Valeurs du flux de légionelles	Scores
1	0-1	1
2	1-100	10
3	100-1000	100
4	1000-10 000	1000
5	>10 000	10 000

Tableau 10 : Définition des classes et des scores pour le flux de légionelles

– ***Pour la durée d'émission d'aérosols contaminés***

La durée d'émission d'aérosols contaminés permet de prendre en compte les phases de fonctionnement et d'arrêt d'une source potentielle de contamination donnée.

Nous définissons les classes de ce paramètre en fonction du nombre de jours d'émission d'aérosols contaminés Q_i divisé par le coefficient k défini par :

- $k=1$: pour un fonctionnement de l'installation 24h/24h ;
- $k=1/2$: pour un fonctionnement de l'installation 12h/24h ;
- $k=1/3$: pour un fonctionnement de l'installation 8h/24h.

Nous déterminons ensuite le ratio $Q_i/Q_{\max}$ où $Q_{\max}$ correspond à la durée totale des expositions pour chaque vague d'épidémie.

Cela nous permet de définir cinq classes pondérées par un score représentées dans le tableau ci-dessous :

Classes de durée d'émission des aérosols contaminés	Valeurs $Q_i / Q_{\max}$	Scores
1	<1%	1
2	1%-5%	5
3	5%-12%	10
4	12%-33%	30
5	33%-100%	100

Tableau 11 : Définition des classes et des scores pour les durées d'émission d'aérosols contaminés

– ***Pour le facteur de dispersion des aérosols contaminés***

Pour le facteur de dispersion des aérosols dans l'atmosphère, nous définissons les classes pondérées suivantes représentées dans le tableau ci-dessous :

Classes de facteur de dispersion	Capacité de dispersion suivant le type d'installation	Scores
1	1	1
2	10	10
3	100	100
4	1000	1000

Tableau 12 : Définition des classes et des scores pour le facteur de dispersion des aérosols

– **Pour la possibilité d'agrégats**

Le niveau de prise en compte de la possibilité d'agrégats correspondant à environ 150 cellules par agrégat.

Classes de possibilité d'agrégats	Possibilité d'agrégat	Scores
1	Peu probable	1
2	Probable	50
3	Très probable	75
4	Sûre	100

Tableau 13 : Estimation des taux d'agrégats par type d'installation

– **Pour la proportion de malades pouvant être exposés durant les épisodes d'émissions d'aérosols contaminés**

Nous définissons les classes de ce paramètre en fonction du nombre de malades pouvant être exposés Q_i rapporté au nombre maximal de cas Q_{totale} .

Cela nous permet de définir trois classes pondérées par un score représentées dans le tableau ci-dessous :

Classes des malades exposées	Quantité Q_i / Q_{totale}	Scores
1	<1%	1
2	1%-5%	5
3	5%-12%	10
4	12%-33%	30
5	33%-100%	100

Tableau 14 : Définition des classes et des scores pour les malades exposés

a. Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

Sur la base du référentiel temporel utilisé, c'est-à-dire soit sur la durée totale d'une épidémie ou soit sur chaque vague successive d'une épidémie, nous procédons comme suit :

- **Etape 1 :** Nous associons à chaque source potentielle de contamination, les valeurs déterminées des cinq paramètres suivants :
 - Moyenne du flux de légionelles émis par l'installation.
 - Le facteur de dispersion des aérosols suivant l'installation.

- La durée d'émission d'aérosols contaminés.
 - La possibilité d'agrégats.
 - le pourcentage de malades pouvant être exposés.
-
- **Etape 2 :** A chaque source potentielle, nous affectons une classe de risque puis un score aux quantités des cinq paramètres pris en compte.
 - **Etape 3 : Calcul du score de risque associée à chaque source potentielle**

Le score de risque est calculé en effectuant le produit des scores obtenus pour les cinq paramètres.

4. Résultats

Sur la base des informations fournies par le rapport d'investigation, nous appliquons dans ce chapitre les différentes étapes de la méthodologie d'évaluation du risque de légionellose.

4.1. Etape 1 : Recensement des données disponibles

- **Concernant la population contaminée**

Nous disposons de :

- La courbe épidémique journalière pour 83 cas déclarés de légionellose selon la date de début d'apparition des symptômes.
- La courbe épidémique tri-journalière pour 3 cas de légionellose selon la date de début des signes qui fournit trois dates possibles d'apparition des symptômes de la légionellose pour chaque malade.

- **Concernant les sources potentielles de contamination**

Nous disposons d'un historique de résultats de prélèvements environnementaux effectués sur les sources potentielles de contamination.

Ces informations correspondent à des relevés ponctuels à une date donnée et renseignent les niveaux de contamination de différentes sources potentielles de contamination.

4.2. Etape 2 : Détermination de la loi de probabilité de la date d'exposition

A partir de :

- a. la distribution de la date d'apparition des symptômes de la maladie des 86 cas incidents.
- b. le délai d'incubation qui correspond au délai entre la contamination et l'apparition des premiers symptômes de la maladie. Il est de 2 à 10 jours avant la date de début des signes dans le cas de la légionellose,

nous déterminons :

- c. La loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraîné l'apparition des symptômes de la maladie pour l'ensemble des 86 cas de légionellose.

a. Distribution de la date d'apparition des symptômes de la maladie

La figure ci-dessous illustre la distribution temporelle journalière obtenue pour les 86 cas de légionellose en fonction de la date d'apparition des symptômes de la maladie.

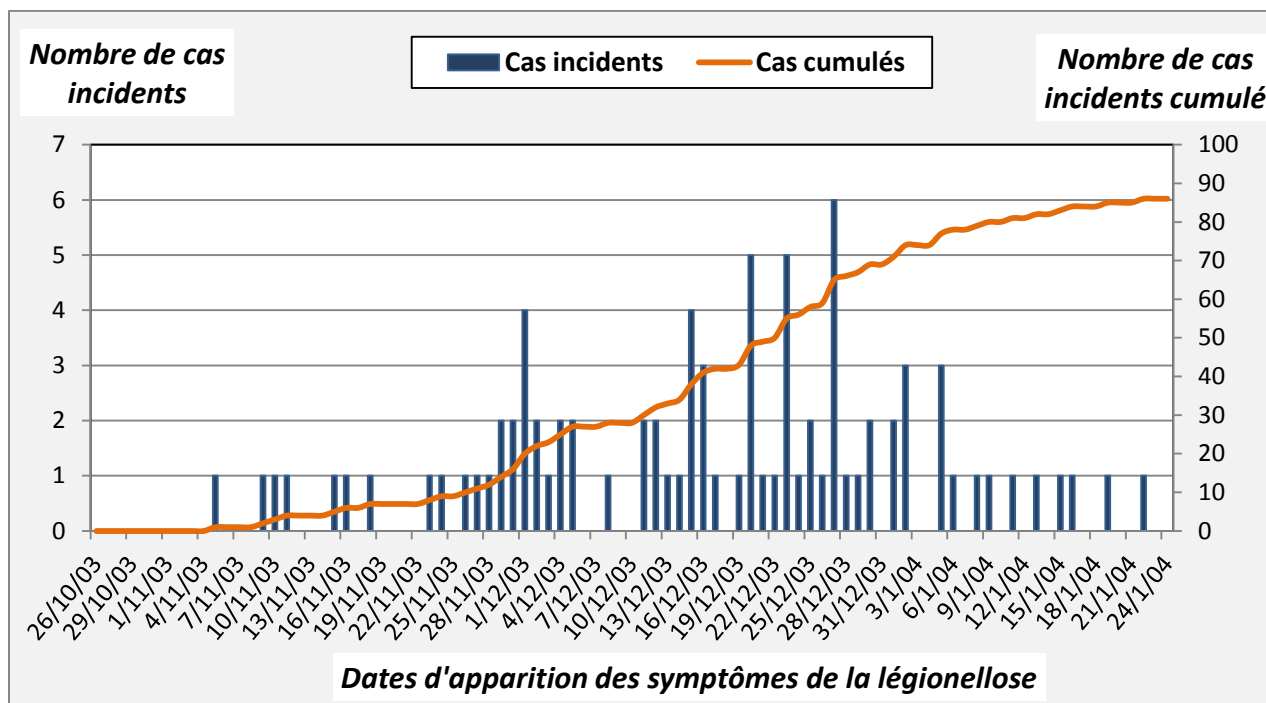


Figure 4 : Distribution temporelle des 86 cas de légionellose en fonction de la date d'apparition des symptômes

b. Détermination du délai d'incubation de la maladie pour chaque cas

Nous déterminons la période d'incubation de chaque malade en prenant en compte soit une seule date possible d'apparition des symptômes (83 cas), soit trois dates possibles (3 cas).

- **Pour une seule date possible d'apparition des symptômes (83 cas)**
 - Une seule période d'incubation de 2 à 10 jours est associée à chaque malade.
- **Pour un choix entre 3 dates possibles d'apparition des symptômes (3 cas)**
 - Trois périodes d'incubation de 2 à 10 jours pour les 3 dates possibles d'apparition des symptômes sont associées à chaque malade.
 - Le délai d'incubation en fonction des 3 dates possibles est obtenu par une loi de probabilité conditionnelle de la façon suivante : on somme les probabilités de chaque jour identique aux 3 périodes d'incubation sachant que les 3 dates d'apparition des symptômes ont une probabilité de 1/3 chacune.

Nous donnons dans le tableau ci-après les périodes d'incubation obtenues de la maladie pour les 86 cas en fonction de la date d'apparition des premiers symptômes.

La durée totale des expositions pour l'ensemble des 86 cas s'étend du 26 octobre 2003 au 22 janvier 2004.

Dates	Nombre de cas	Période d'incubation de la maladie
05/11/2003	1	Du 26/10/2003 au 03/11/2003
09/11/2003	1	Du 30/10/2003 au 07/11/2003
10/11/2003	1	Du 31/10/2003 au 08/11/2003
11/11/2003	1	Du 01/11/2003 au 09/11/2003
15/11/2003	1	Du 05/11/2003 au 13/11/2003
16/11/2003	1	Du 06/11/2003 au 14/11/2003
18/11/2003	1	Du 08/11/2003 au 16/11/2003
23/11/2003	1	Du 13/11/2003 au 21/11/2003
24/11/2003	1	Du 14/11/2003 au 22/11/2003
26/11/2003	1	Du 16/11/2003 au 24/11/2003
27/11/2003	1	Du 17/11/2003 au 25/11/2003
28/11/2003	1	Du 18/11/2003 au 26/11/2003
29/11/2003	2	Du 09/11/2003 au 27/11/2003
30/11/2003	2	Du 20/11/2003 au 28/11/2003
01/12/2003	4	Du 21/11/2003 au 29/11/2003
02/12/2003	2	Du 22/11/2003 au 30/11/2003
03/12/2003	1	Du 23/11/2003 au 01/12/2003
04/12/2003	2	Du 24/11/2003 au 02/12/2003
05/12/2003	2	Du 25/11/2003 au 03/12/2003
08/12/2003	1	Du 28/11/2003 au 06/12/2003
11/12/2003	2	Du 01/12/2003 au 09/12/2003
12/12/2003	2	Du 02/12/2003 au 10/12/2003
13/12/2003	1	Du 03/12/2003 au 11/12/2003
14/12/2003	1	Du 04/12/2003 au 14/12/2003
15/12/2003	4	Du 05/12/2003 au 13/12/2003
16/12/2003	3	Du 06/12/2003 au 14/12/2003
17/12/2003	1	Du 07/12/2003 au 15/12/2003
19/12/2003	1	Du 09/12/2003 au 17/12/2003
20/12/2003	5	Du 10/12/2003 au 18/12/2003
21/12/2003	1	Du 11/12/2003 au 19/12/2003
22/12/2003	1	Du 12/12/2003 au 20/12/2003
23/12/2003	5	Du 13/12/2003 au 21/12/2003

Tableau 15 : Recensement de la période d'incubation pour chaque cas

24/12/2003	1	Du 14/12/2003 au 22/12/2003
25/12/2003	2	Du 15/12/2003 au 23/12/2003
26/12/2003	1	Du 16/12/2003 au 24/12/2003
27/12/2003	6	Du 17/12/2003 au 25/12/2003
28/12/2003	1	Du 18/12/2003 au 26/12/2003
29/12/2003	1	Du 19/12/2003 au 27/12/2003
30/12/2003	2	Du 20/12/2003 au 28/12/2003
01/01/2004	2	Du 22/12/2003 au 30/12/2003
02/01/2004	3	Du 23/12/2003 au 31/12/2003
05/01/2004	3	Du 26/12/2003 au 03/01/2004
06/01/2004	1	Du 27/12/2003 au 04/01/2004
08/01/2004	1	Du 29/12/2003 au 06/01/2004
09/01/2004	1	Du 30/12/2003 au 07/01/2004
11/01/2004	1	Du 01/01/2004 au 09/01/2004
13/01/2004	1	Du 03/01/2004 au 11/01/2004
15/01/2004	1	Du 05/01/2004 au 13/01/2004
16/01/2004	1	Du 06/01/2004 au 14/01/2004
19/01/2004	1	Du 09/01/2004 au 19/01/2004
22/01/2004	1	Du 12/01/2004 au 22/01/2004

Tableau 15 (suite) : Recensement de la période d'incubation pour chaque cas

c. Détermination de la loi de probabilité de la date d'exposition de la maladie ayant entraînée l'apparition des symptômes

• Choix de la loi de probabilité associée à la répartition du temps d'incubation de la maladie

Nous déterminons la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraîné l'apparition des symptômes suivant différentes hypothèses sur le choix de la loi de probabilité associée au délai d'incubation de la maladie.

Les différentes lois de probabilité utilisées sont les suivantes :

- loi de probabilité uniforme ;
- loi de probabilité normale bornée ;
- loi de probabilité log-normale ;
- loi de probabilité triangulaire bornée.

La figure ci-dessous compare les fonctions de répartition des différentes lois de probabilités de la date d'exposition obtenues.

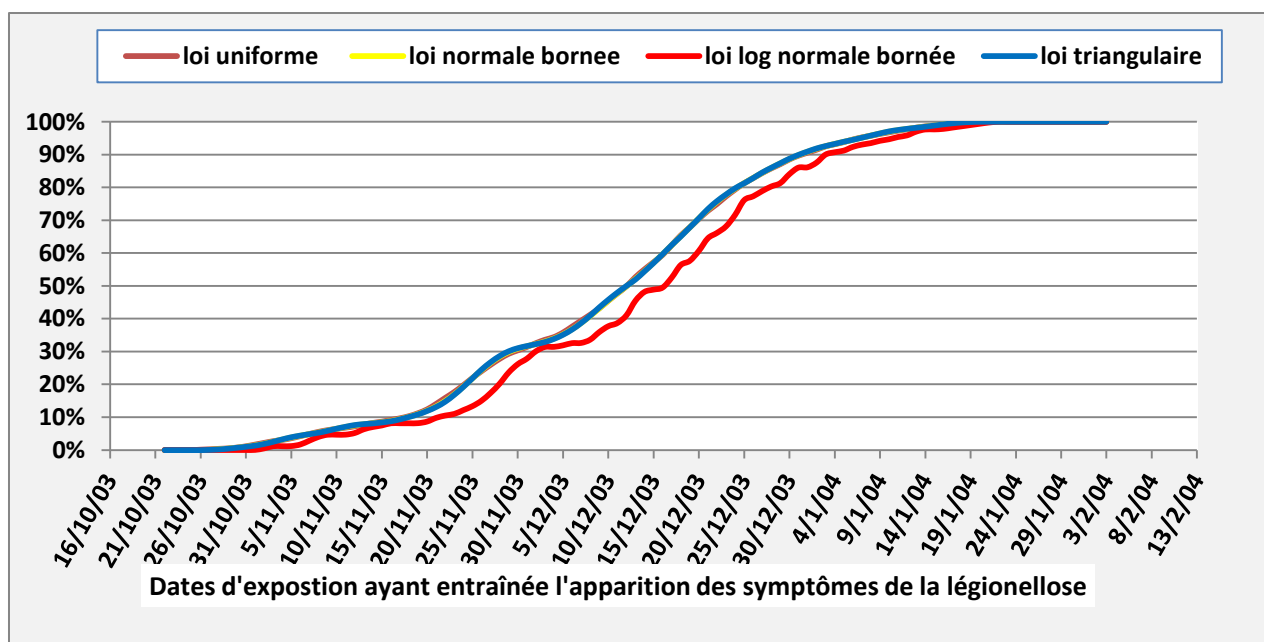


Figure 5 : Fonctions de répartition de la date d'exposition en fonction du choix de la loi de probabilité associée au délai d'incubation

En conclusion :

Les fonctions de répartition de la date d'exposition suivant les lois : uniforme, normale bornée et triangulaire sont confondues. Cela signifie que le choix de l'une de ces lois n'a pas d'impact significatif sur la loi de probabilité de la date d'exposition.

La fonction de répartition de la date d'exposition suivant la loi log normale se différencie des autres. Cela signifie que le choix de ce type de loi comparativement aux précédentes peut avoir un impact remarquable sur les résultats.

Nous procéderons donc par la suite à une étude des sources potentielles de contamination suivant deux types de lois :

- une répartition uniforme associée au délai d'incubation de la maladie ;
- une répartition suivant une loi log-normale associée au délai d'incubation de la maladie.

Remarque : le détail des résultats obtenus sur l'étude de sensibilité est fourni dans *Annexe 1*.

• Loi de probabilité de la date d'exposition de la maladie ayant entraînée l'apparition des symptômes

A partir de la définition de la distribution du délai d'incubation des 86 cas de légionellose, nous construisons la loi de probabilité de la date d'exposition ayant pu entraîner la contamination des malades suivant une loi uniforme et une loi log-normale.

La date d'exposition correspond au jour où le malade a reçu une dose suffisante de légionelles pour déclencher l'apparition des symptômes après le délai d'incubation de la maladie.

Nous obtenons les lois de probabilité de la date d'exposition illustrées dans la figure ci-après.

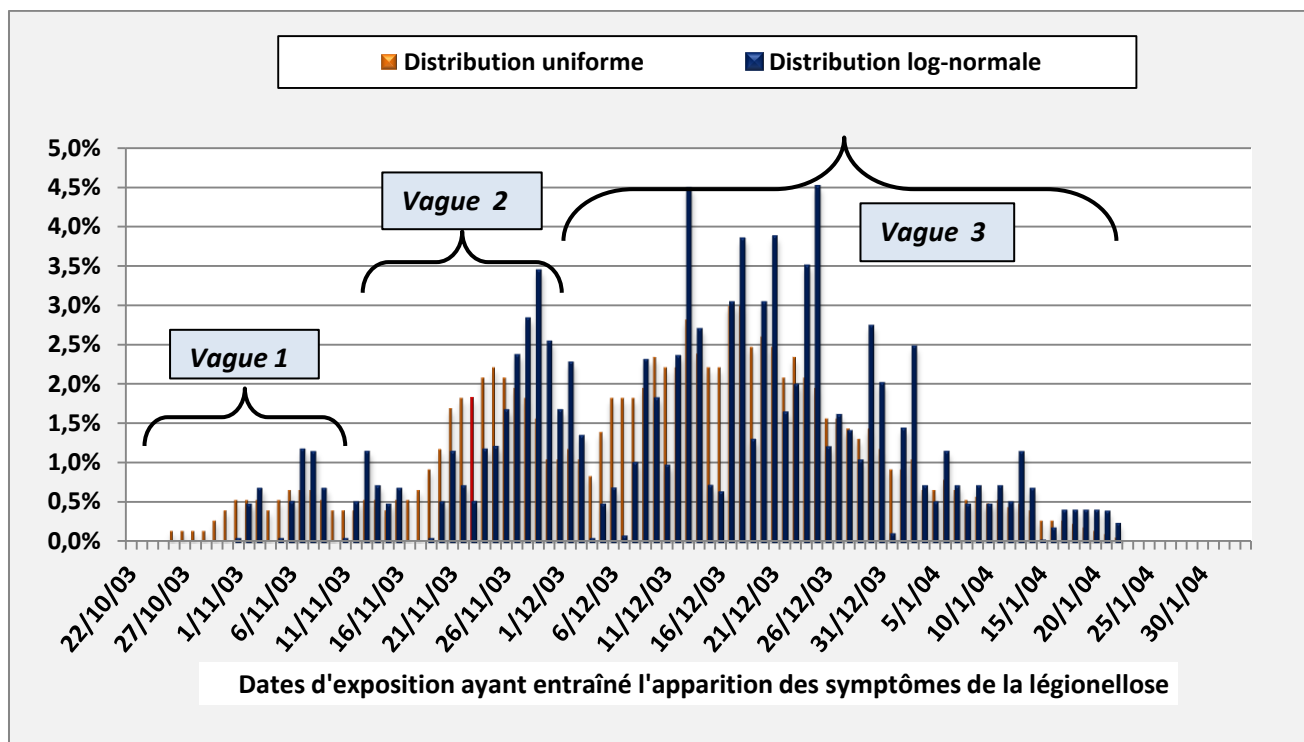


Figure 6 : Lois de probabilité de la date d'exposition suivant une distribution uniforme et log-normale

L'histogramme ci-dessous donne la probabilité des dates d'exposition ayant entraîné l'apparition des symptômes de la légionellose pour l'ensemble des 86 malades.

La loi de probabilité de la date d'exposition se lit de la manière suivante :

Par exemple :

La probabilité d'être exposé aux légionelles le 18 décembre 2003 et que cela entraîne l'apparition des symptômes de la maladie est de :

- 3% pour l'ensemble des 86 cas avec une loi uniforme ;
- 4% pour l'ensemble des 86 cas avec une loi log-normale.

En conclusion :

Trois vagues d'épidémie sont clairement identifiées.

L'étendue des dates d'exposition sur l'ensemble de la durée de l'épidémie est de :

- 89 jours avec une loi uniforme associée au délai d'incubation de la maladie ;
- 82 jours avec une loi log-normale associée au délai d'incubation de la maladie.

4.3. Etape 3 : Choix du référentiel temporel

- *Avec la loi Uniforme*

Le référentiel temporel utilisé pour la hiérarchisation des sources potentielles de contamination correspond aux **89 jours** d'exposition précédant la date de début des symptômes de l'ensemble des 86 cas de légionellose.

Il est décomposé suivant les trois vagues successives d'épidémie précédemment identifiées :

- *Vague n°1* : du 26/10/2003 au 10/11/2003 soit **16 jours**.
- *Vague n°2* : du 11/11/2003 au 03/12/2003 soit **23 jours**.
- *Vague n°3* : du 04/12/2003 au 22/01/2004 soit **50 jours**.

- *Avec la loi Log Normale*

Le référentiel temporel utilisé pour la hiérarchisation des sources potentielles de contamination correspond aux **82 jours** d'exposition précédant la date de début des symptômes de l'ensemble des 86 cas de légionellose.

Il est décomposé suivant les trois vagues successives précédemment identifiées :

- *Vague n°1* : du 01/11/2003 au 9/11/2003 soit **9 jours**.
- *Vague n°2* : du 11/11/2003 au 03/12/2003 soit **23 jours**.
- *Vague n°3* : du 04/12/2003 au 22/01/2004 soit **50 jours**.

Le tableau ci-après détaille les dates de début et de fin de chaque vague d'épidémie ainsi que les durées en jours obtenus pour les différents types de lois de probabilité prises en compte.

Type de lois de probabilité	Vagues	Distribution journalière		Nombre de cas infectés	Pourcentage de cas infectés par rapport au 86 cas	Probabilité d'exposition ayant entraîné les symptômes de la maladie
		Durée en jours	Dates			
Uniforme	Vague 1	16	du 26/10/2003 au 10/11/2003	7	8%	7%
	Vague 2	23	du 11/11/2003 au 03/12/2003	26	30%	27%
	Vague 3	50	du 04/12/2003 au 22/01/2004	53	62%	66%
	Total	89	du 26/10/2003 au 22/01/2004	86	100%	100%
Log- normale	Vague 1	9	du 01/11/2003 au 09/11/2003	4	4%	4%
	Vague 2	23	du 11/11/2003 au 03/12/2003	23	27%	26%
	Vague3	50	du 04/12/2003 au 22/01/2004	59	69%	70%
	Total	82	du 01/11/2003 au 22/01/2004	86	100%	100%

Tableau 16 : Récapitulatif de la durée et du nombre de malades au cours de chaque vague d'épidémie

Au cours de ces différentes vagues d'épidémie, nous obtenons par exemple :

- **Avec la loi uniforme**

- du 11 novembre 2003 au 03 décembre 2003, la probabilité d'exposition ayant entraîné l'apparition des symptômes est égale à 27 % ;
- du 04 décembre 2003 au 22 janvier 2004, la probabilité d'exposition à la souche épidémique ayant entraîné l'apparition des symptômes est égale à 66%.

Sur l'ensemble des deux périodes, le risque d'exposition entraînant l'apparition des symptômes associés à la souche épidémique est d'environ 93 %.

Remarque : La comparaison entre les lois de probabilité de la date d'exposition obtenues à partir d'une distribution journalière et tri-journalière est donnée dans la figure ci dessous :

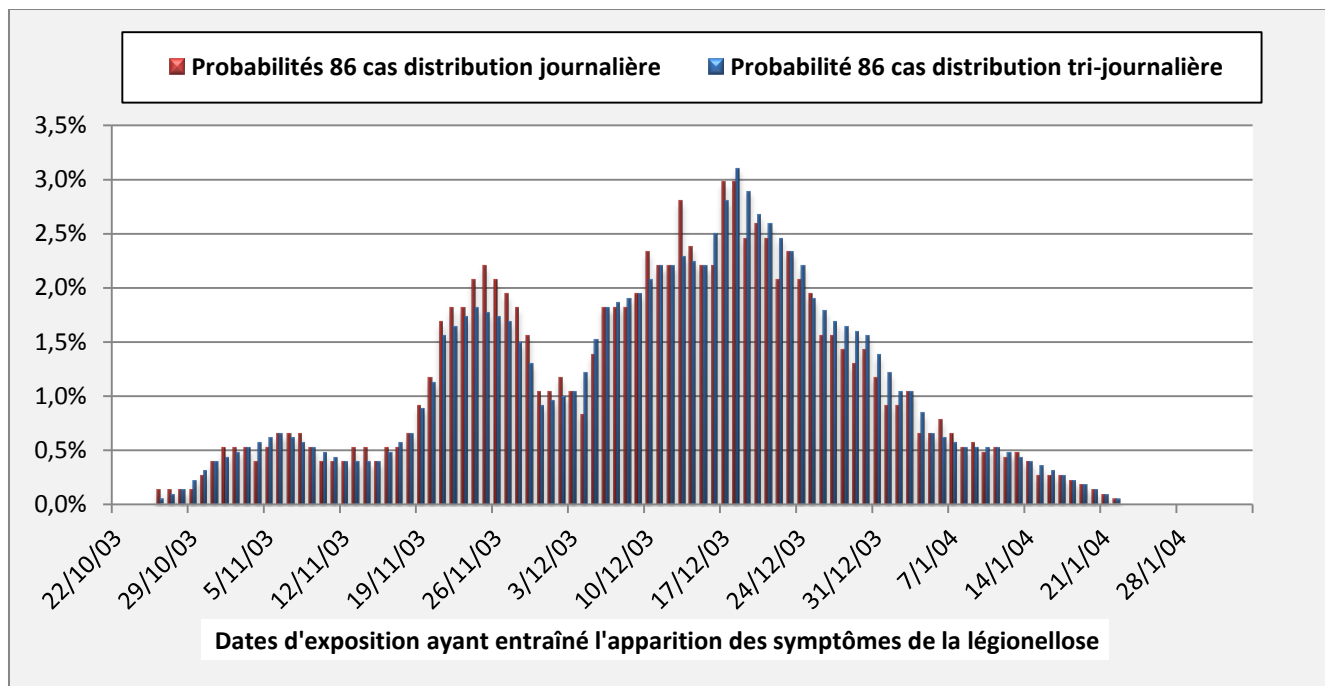


Figure 7 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents

Nous constatons très peu de différence.

Cela signifie que la distribution tri-journalière au lieu d'une distribution journalière des cas incidents n'a pas d'impact significatif sur la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraînée l'apparition des symptômes.

4.4. Etape 4 : Etude des sources potentielles de contamination

Sur la base des informations fournies par le rapport d'investigation, nous étudions dans l'étape 3 de la méthodologie les différentes sources potentielles de contamination.

a. Recensement des installations à risque

Nous avons pris en compte les installations industrielles susceptibles de contenir de l'eau contaminée et dispersantes des aérosols.

Il s'agit des sources potentielles de contamination suivantes :

- tours aéroréfrigérantes ;
- remise en suspension de dépôt de biofilm contaminé via le Karcher utilisé pour le nettoyage des tours aéroréfrigérantes ;
- lagune aérée ;
- station de lavage de véhicules proche.

b. Etude des sources potentielles de contamination

1) Tours aéroréfrigérantes

- **Description de la source potentielle de contamination**

Cette source potentielle est composée de deux TAR (tours aéroréfrigérantes) d'une hauteur de 6,5 m et de circuits pour refroidir ses unités de production via des échangeurs.

A la sortie des circuits de refroidissement, l'air expulsé par des ventilateurs s'humidifie et assure l'évacuation de la chaleur en formant un panache susceptible d'être contaminé par les eaux des TAR.

- **Niveaux de contamination de la source potentielle de contamination**

Nous avons procédé à une étude de l'historique des prélèvements environnementaux effectués au niveau du système de refroidissement des TAR.

Remarque sur les valeurs de niveaux de contamination prises en compte : Lorsque plusieurs résultats de prélèvement sont donnés pour une même date, nous avons pris en compte le niveau le plus élevé.

Le tableau suivant détaille les résultats des prélèvements obtenus en fonction des phases d'arrêt et de fonctionnement des TAR pour les trois vagues d'épidémie identifiées précédemment.

Vagues d'épidémie	Date du prélèvement	Dénombrement UFC/Litre	C° air (UFC/m³)	Flux de légionelles (UFC/s)	Moyenne C°air (UFC/m³)	Max C°air (UFC/m³)	Moyenne flux (UFC/s)	Max flux (UFC/s)
Vague 1	15/09/2003	99	0,02277	4,95	56	168	12 170	36 500
	15/10/2003	7,3.10 ⁵	167,9	36500				
	30/10/2003	99	0,02277	4,95				
Vague 2	20/11/2003	6,10 ⁵	138	30 000	35	138	7626	30 000
	27/11/2003	7,4.10 ³	1,702	370				
	28/11/2003	2,4.10 ³	0,552	120				
	01/12/2003	250	0,0575	12,5				
02/12/2003-21/12/2003		ARRET POUR NETTOYAGE DES TAR						
Vague 3	22/12/2003	99	0,02277	4,95	0,08	0,23	17,475	50
	29/12/2003	99	0,02277	4,95				
	30/12/2003	1000	0,23	50				
	02/01/2004	200	0,046	10				
A partir du 03/01/2004		ARRET DEFINITIF DES TAR						

Tableau 17 : Chronologie de l'état des TAR

- Périodes de contamination de la source potentielle de contamination

En fonction des phases de fonctionnement et d'arrêt, nous déterminons les durées de contamination des TAR et leur proportion relativement à la durée des trois vagues d'épidémie.

Le tableau ci-après renseigne les résultats obtenus.

Type de lois de probabilité	Vagues d'épidémie	Nombre de jours par vague d'épidémie	Nombre de jours de contamination de l'installation	Pourcentage de jours par rapport à chaque vague d'épidémie	Pourcentage de jours par rapport à la durée totale de l'épidémie
Uniforme	Vague 1	16	16	100%	18%
	Vague 2	23	21	91%	24%
	Vague 3	50	12	24%	13%
	Total	89	49		55%
Log-normale	Vague 1	9	9	100%	11%
	Vague 2	23	21	91%	26%
	Vague 3	50	12	24%	15%
	Total	82	42		51%

Tableau 18 : Récapitulatif des durées de contamination de l'installation

En conclusion :

○ Avec une loi uniforme

La contamination des TAR s'étend sur une durée totale de **49 jours** par rapport aux 89 jours de l'épidémie ce qui représente **55%** de la durée totale de l'épidémie.

○ Avec une loi log normale

La contamination des TAR s'étend sur une durée totale de **42 jours** par rapport aux 82 jours de l'épidémie ce qui représente **51%** de la durée totale de l'épidémie.

A partir de cette étude chronologique, nous déterminons le nombre de malades pouvant être exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés durant la période d'incubation de la maladie au cours de chaque vague d'épidémie.

• Nombre de malades pouvant être exposés à la source potentielle de contamination au cours de chaque vague d'épidémie

Les dates d'exposition durant le délai d'incubation de la maladie des 86 cas de légionellose nous permettent d'identifier la proportion de malades pouvant être exposés aux aérosols durant les phases de fonctionnement des TAR.

Les résultats obtenus pour les deux lois de probabilités prises en compte sont donnés dans le tableau ci-après :

Type de lois de probabilité	Vagues d'épidémie	Nombre de cas	Nombre de cas exposés à l'installation	Pourcentage par rapport à chaque vague	Pourcentage par rapport aux 86 cas	Probabilité moyenne d'infection par cas	Probabilité d'être infectés en même temps
Uniforme	Vague 1	7	7	100%	8%	79%	20%
	Vague 2	26	23	88%	27%	86%	4%
	Vague 3	53	26	49%	30%	61%	0%
	Total	86	56		65%		
Log normale	Vague 1	4	4	100%	5%	100%	100%
	Vague 2	23	23	100%	27%	87%	4%
	Vague 3	59	23	39%	27%	86%	3%
	Total	86	50		58%		

Tableau 19 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée à la source potentielle.

○ Avec une loi uniforme

Sur les trois vagues environ **65 % des 86 cas ont une probabilité non nulle** d'avoir été exposés à la source potentielle de contamination.

Cela signifie donc que près de **35 % des 86 cas ont une probabilité nulle** d'avoir été exposés aux aérosols contaminés durant le fonctionnement des TAR.

○ Avec une loi log normale

Sur les trois vagues environ **59 % des 86 cas ont une probabilité non nulle** d'avoir été exposés à la source potentielle de contamination.

Cela signifie donc que près de **41 % des 86 cas ont une probabilité nulle** d'avoir été exposés aux aérosols contaminés durant le fonctionnement des TAR.

- **Probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps au cours de chaque vague d'épidémie**

Nous déterminons la probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps pour chaque vague d'épidémie.

La probabilité conjointe correspond à la probabilité qu'un nombre n de malades parmi un nombre N maximal possible soient infectés en même temps.

Remarque : le détail des résultats obtenus est fourni dans *Annexe 2*.

➤ Pour la première vague d'épidémie

La répartition des probabilités conjointes d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la première vague d'épidémie pour chaque type de loi de probabilité est donnée dans la figure ci-après :

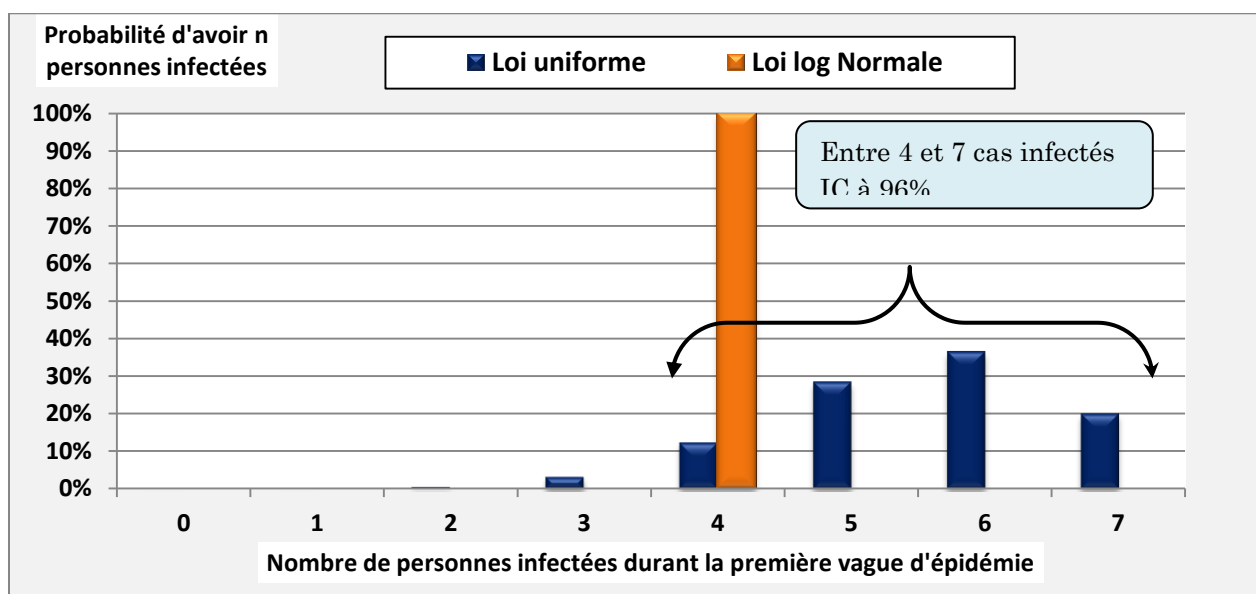


Figure 8 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7 avec la loi uniforme et pour n variant de 0 à 4 avec la loi log- normale) infectées en même temps au cours de la 1^{ère} vague d'épidémie

En conclusion :

Pour la première vague d'épidémie, les histogrammes ci-dessus fournissent les informations suivantes :

- **Avec une loi uniforme (7 cas exposés)**
 - La probabilité pour que les **7 cas** de la première vague ne soient pas infectés en même temps est égale à **80%**.

- Avec près de **36 %**, la probabilité d'avoir 6 personnes infectées en même est la probabilité la plus élevée.
- *Avec une loi log normale (4 cas exposés)*
- La probabilité pour que les **4 cas** de la première vague soient infectés en même temps est égale à **100%**.

➤ Pour la deuxième vague d'épidémie

La répartition des probabilités conjointes d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la deuxième vague d'épidémie pour chaque type de loi de probabilité est donnée dans la figure ci-après :

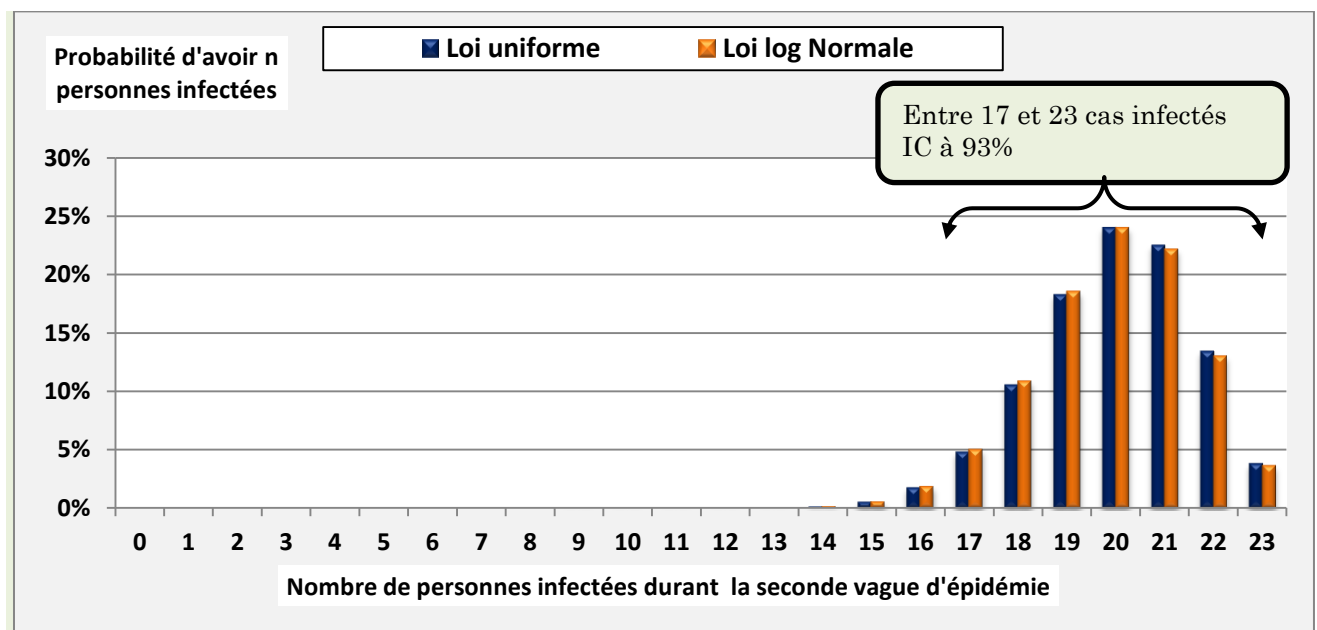


Figure 9 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps au cours de la 2^{ème} vague d'épidémie

En conclusion :

Pour la deuxième vague d'épidémie, les histogrammes ci-après fournissent les informations suivantes :

- *Avec une loi uniforme et log-normale (23 cas exposés)*
- La probabilité pour que les **23 cas** de la seconde vague d'épidémie soient infectés en même temps est faible de l'ordre de **4%**.

- Avec plus de **24 %**, la probabilité d'avoir **20 personnes** infectées en même est la probabilité la plus élevée.
- **Entre 17 et 23 personnes** ont une probabilité non nulle d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 95 %**, ce qui représente entre **74% et 100% des 23 cas** de légionellose de la seconde vague d'épidémie.

➤ Pour la troisième vague d'épidémie

La répartition des probabilités conjointes d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la troisième vague d'épidémie pour chaque type de lois est donnée dans la figure ci-après :

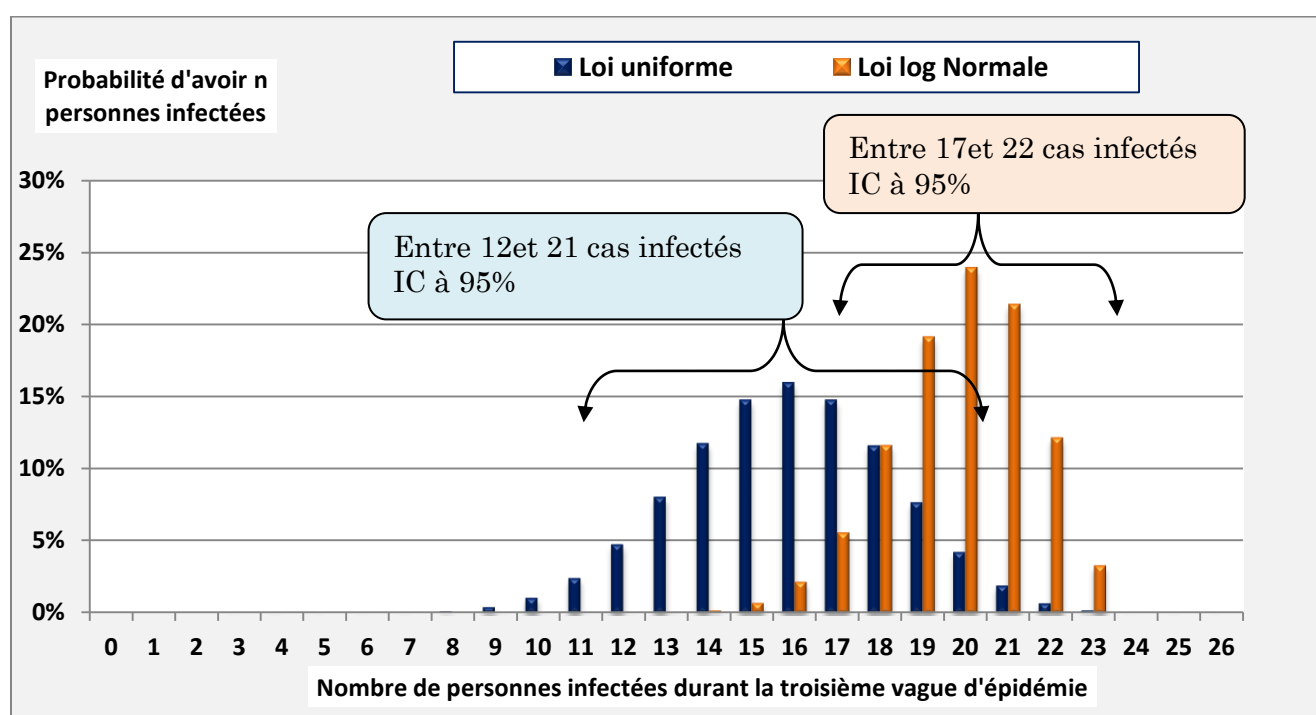


Figure 10 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26 pour la loi uniforme et de 0 à 23 pour la loi log normale) infectées en même temps au cours de la 3^{ème} vague d'épidémie

En conclusion :

Pour la troisième vague d'épidémie, la figure ci-dessus fournit les informations suivantes :

○ Avec une loi uniforme (26 cas exposés)

- La probabilité que **26 personnes** soient infectées en même temps par les TAR est **nulle**.
- Avec près de **16%**, la probabilité d'avoir **16 personnes** infectées en même est la probabilité la plus élevée.

- **Entre 12 et 21 personnes** ont une probabilité non nulle d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 95 %**, ce qui représente entre **24% et 42% des 50 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie.

Cela signifie donc qu'au moins **58 %** des **50 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie ont une probabilité nulle d'être infectés en même temps.

- *Avec une loi log normale (23 cas exposés)*

- La probabilité que **23 personnes** soient infectées en même temps est de **3 %**.
- Avec près de **24 %**, la probabilité d'avoir **20 personnes** infectées en même est la probabilité la plus élevée.
- **Entre 17 et 22 personnes** ont une probabilité non nulle d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 95 %**, ce qui représente entre **24% et 42% des 50 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie.

Cela signifie donc qu'au moins **58 % des 50 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie ont une probabilité nulle d'être infectés en même temps.

2) Source 2: Impact du nettoyage des tours aéroréfrigérantes au Karcher

- **Description de la source potentielle de contamination**

Le karcher n'est pas une source de contamination, dans la mesure où il ne contient pas d'eau contaminée, mais plutôt un vecteur de propagation de biofilm contenant des légionelles.

Nous allons donc étudier l'impact du nettoyage au karcher sous l'hypothèse d'une remise en suspension de biofilm contaminé contenu dans l'eau des circuits de refroidissement des TAR dispersé lors du nettoyage aux jets « haute pression ».

- **Niveaux de contamination au cours du nettoyage au karcher**

Nous avons procédé à une étude de l'historique des prélèvements environnementaux effectués au niveau du système de refroidissement des TAR après le nettoyage au karcher haute pression.

Remarque sur les valeurs de niveaux de contamination prises en compte : Lorsque plusieurs résultats de prélèvement sont donnés pour une même date, nous avons pris en compte le niveau le plus élevé.

Le tableau ci-dessous détaille les résultats des prélèvements obtenus lors de la phase de nettoyage au karcher et les conversions obtenues.

Vague d'épidémie	Dates estimées de contamination	Concentration air au niveau des TAR (UFC/m ³)	Flux de légionelles (UFC/s)	Moyenne Cair (UFC/m ³)	Max Cair (UFC/m ³)	Moyenne Flux de légionelles (UFC/s)	Max Flux de légionelles (UFC/s)
Vague 3	13/12/2003 Au 17/12/2003	0,23 et 0.48	16-92 et 33-192	0,36	0,48	83,25	192

Tableau 20 : Chronologie de l'état des TAR lors du nettoyage au karcher

- Périodes de contamination au cours du nettoyage au karcher**

Durant la phase de nettoyage au jet haute pression, nous déterminons la durée de contamination des tours aéroréfrigérantes et sa proportion relativement à la durée de la troisième vague d'épidémie.

Le tableau ci-après renseigne les résultats obtenus.

Type de lois	Vague d'épidémie	Nombre de jours de la vague d'épidémie	Nombre de jours de nettoyage	Pourcentage par rapport à la vague 3	Pourcentage par rapport à la durée totale de l'épidémie
Uniforme	Vague 3	50	5	10%	5,6%
Log normale					6%

Tableau 21 : Récapitulatif des durées de contamination de l'installation

La phase de nettoyage au karcher s'étend sur une durée totale de **5 jours** au cours de la troisième vague de l'épidémie.

A partir de cette étude chronologique, nous déterminons le nombre de malades pouvant être exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés durant la période d'incubation de la maladie au cours de la phase de nettoyage au karcher.

- **Nombre de malades pouvant être exposés à la source potentielle de contamination au cours de la troisième vague d'épidémie**

Les dates d'exposition durant le délai d'incubation de la maladie des 86 cas de légionellose nous permettent d'identifier la proportion de malades pouvant être exposés aux aérosols durant la phase de nettoyage au karcher des TAR.

Les résultats obtenus pour les deux lois de probabilités prises en compte sont donnés dans le tableau ci-après :

Type de lois de probabilités	Vague d'épidémie	Nombre total de cas par vague	Nombre de cas exposés durant le nettoyage	Pourcentage par rapport au nombre de cas par vague	Pourcentage par rapport aux 86 cas	Probabilité moyenne d'infection par cas	Probabilité des cas exposés d'être infectés en même temps
<i>Uniforme</i>	Vague 3	53	32	60%	37%	34%	0%
<i>Log normale</i>		59	16	27%	19%	62%	0%

Tableau 22 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée au vecteur de propagation.

En conclusion :

○ *Avec une loi uniforme*

Sur la totalité de la durée de l'épidémie, près de **37 % des 86 cas ont une probabilité non nulle** d'avoir été exposés à la source potentielle de contamination.

Cela signifie donc que près de **63 % des 86 cas ont une probabilité nulle** d'avoir été exposés aux aérosols suite au nettoyage haute pression.

○ *Avec une loi log normale*

Sur la totalité de la durée de l'épidémie, près de **19 % des 86 cas ont une probabilité non nulle** d'avoir été exposés à la source potentielle de contamination.

Cela signifie donc que près de **81 % des 86 cas ont une probabilité nulle** d'avoir été exposés aux aérosols suite au nettoyage haute pression.

- **Probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps au cours de la troisième vague d'épidémie**

Nous déterminons la probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps durant les cinq jours de nettoyage au karcher.

La probabilité conjointe correspond à la probabilité qu'un nombre n de malades parmi un nombre N maximal possible soient infectés en même temps.

Remarque : le détail des résultats obtenus pour le karcher est fourni en *Annexe 3*.

➤ **Troisième vague d'épidémie**

La répartition des probabilités conjointes d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la troisième vague d'épidémie pour chaque type de loi de probabilité est donnée dans la figure ci-après :

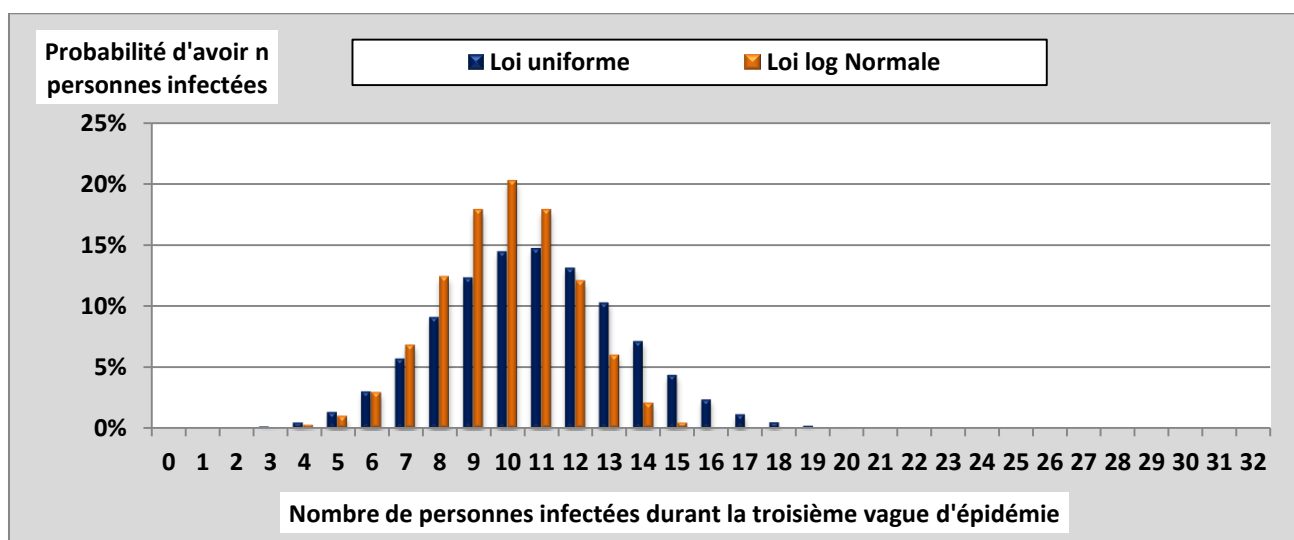


Figure 11 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 32 pour la loi uniforme et de 0 à 16 pour la loi log normale) infectées en même temps

En conclusion :

- **Avec une loi uniforme (32 cas exposés)**

- La probabilité pour que **32 personnes** soient infectées en même temps est **nulle** ;
- Avec **près de 15%**, la probabilité d'avoir **11 personnes infectées** en même est la probabilité la plus élevée.

- **Entre 6 et 15 personnes** ont une probabilité d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 95 %**, ce qui représente entre **11% et 28% des 53 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie.

Cela signifie donc qu'au moins 70 % des 53 cas de légionellose de la troisième vague d'épidémie ont une probabilité nulle d'être infectés en même temps.

- ***Avec une loi log normale (16 cas exposés)***

- La probabilité pour que **16 personnes** soient infectées en même temps est très faible, de l'ordre de **0,05%**.
- Avec près de **20%**, la probabilité d'avoir **10 personnes infectées** en même temps est la probabilité la plus élevée.
- Entre **7 et 14 personnes** sont infectées avec un **intervalle de confiance à 95%**, ce qui représente entre **12 % et 24 % des 59 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie.

Cela signifie donc qu'au moins **72 % des 59 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie ont une **probabilité nulle** d'être infectés en même temps.

3) Source 3 : Station de lavage de véhicule

- **Description de la source potentielle de contamination**

Une station de lavage est une infrastructure destinée à permettre aux automobilistes de laver leur véhicule au jet haute-pression.

Ce sont ces jets haute pression qui émettent des aérosols.

- **Niveau de contamination de l'installation**

Nous avons procédé à une étude de l'historique des prélèvements environnementaux effectués au niveau de la station de lavage de véhicule.

Remarque sur les valeurs de niveaux de contamination prises en compte : Lorsque plusieurs résultats de prélèvement sont donnés pour une même date, nous avons pris en compte le niveau le plus élevé.

Le tableau suivant détaille les résultats des prélèvements obtenus en fonction des phases d'arrêt et de fonctionnement de la station de lavage durant la durée de l'épidémie.

Vague d'épidémie	Dates de prélèvements	Dénombrement (UFC/l)	C°air (UFC/m³)	Flux de Légionnelles (UFC/s)
Avant le 15/12/2003		Négatif		
Vague 3	15/12/2003-23/12/2003	1600	0,32	200
24/12/2003-26/12/2003		Arrêt pour nettoyage		
A partir du 27/12/2003		Négatif		

Tableau 23 : Chronologie de l'état de la station de lavage

- Période de contamination de la source potentielle de contamination**

En fonction des phases d'arrêt et de nettoyage, nous déterminons la durée de contamination de la station de lavage et sa proportion relativement à la durée de la troisième vague d'épidémie.

Le tableau ci-après renseigne les résultats obtenus.

Type de lois de probabilité	Vague d'épidémie	Nombre total de jours par vague	Nombre de jours de contamination de l'installation	Pourcentage de jours par rapport à la durée de la vague	Pourcentage par rapport à la durée totale de l'épidémie
Uniforme	Vague 3	50 jours	9 jours	18%	10%
Log Normale				18%	11%

Tableau 24 : Récapitulatif des durées de contamination de l'installation

La contamination de la station de lavage s'étend sur une durée totale de **9 jours** qui se répartit sur la troisième vague d'épidémie.

A partir de cette étude chronologique, nous déterminons le nombre de malades pouvant être exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés durant la période d'incubation de la maladie au cours de la troisième vague d'épidémie.

- Nombre de malades pouvant être exposés à la source potentielle de contamination au cours de chaque vague d'épidémie**

Les dates d'exposition durant le délai d'incubation de la maladie des 86 cas de légionellose nous permettent d'identifier la proportion de malades pouvant être exposés aux aérosols diffusés par la station de lavage.

Les résultats obtenus pour les deux lois de probabilités prises en compte sont donnés dans le tableau ci-après :

Type de lois de probabilité	Vague d'épidémie	Nombre de cas par vague	Nombre de cas exposés à l'installation	Pourcentage de cas par rapport au nombre total de cas par vague	Pourcentage de cas par rapport aux 86 cas	Probabilité moyenne d'infection par cas	Probabilité d'être infectés en même temps
Uniforme	Vague 3	53	33	62%	38%	58%	0%
Log Normale		59	24	41%	28%	72%	0%

Tableau 25 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée au vecteur de propagation

En conclusion :

○ Avec une loi uniforme

Durant la troisième vague d'épidémie près de **38 % des 86 cas** de légionellose ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés à la source potentielle de contamination.

Cela signifie donc que près de **62 % des 86 cas ont une probabilité nulle** d'avoir été exposés aux aérosols de la station de lavage.

○ Avec une loi log normale

Durant la troisième vague d'épidémie près de **28 % des 86 cas** de légionellose ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés à la source potentielle de contamination.

Cela signifie donc que près de **72 % des 86 cas** de légionellose **ont une probabilité nulle** d'avoir été exposés aux aérosols suite au nettoyage haute pression.

Par ailleurs, avec une loi log normale, nous obtenons **10 % (9 cas) de cas exposés en moins** qu'avec une loi uniforme sur le délai d'incubation de la maladie.

Pour chaque type de loi, nous procédons à l'étude de la probabilité conjointe des malades d'être infectés respectivement au cours de chaque vague d'épidémie.

• Probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps au cours de chaque vague d'épidémie

Nous déterminons la probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps durant la contamination de la station de lavage.

La probabilité conjointe correspond à la probabilité qu'un nombre n de malades parmi un nombre N maximal possible soient infectés en même temps.

Remarque : le détail des résultats obtenus pour le karcher est fourni en *Annexe 4*.

➤ Troisième vague d'épidémie

La répartition des probabilités conjointes d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la troisième vague d'épidémie pour chaque type de lois de probabilités est donnée dans la figure ci-après :

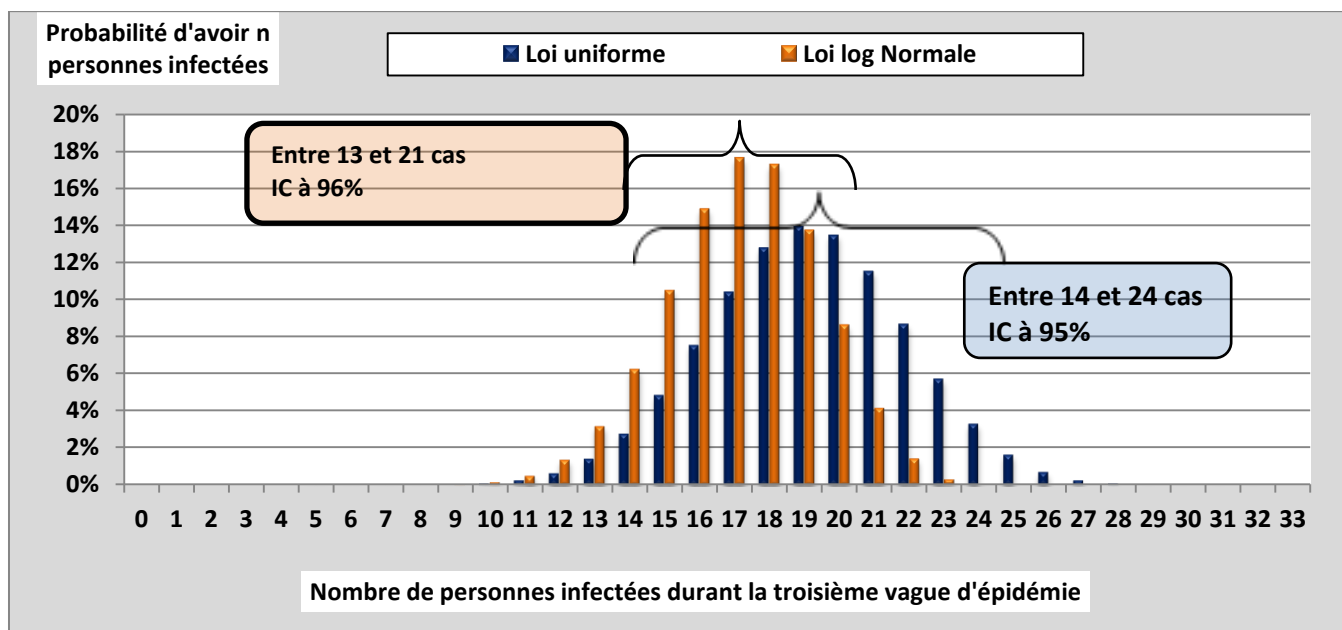


Figure 12 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 33 pour la loi uniforme et de 0 à 24 pour la loi log normale) infectées en même temps

En conclusion :

Durant la troisième vague d'épidémie, la figure ci-dessus fournit les informations suivantes :

- Avec une loi uniforme (33 cas exposés)
 - La probabilité que **33 personnes** soient infectées en même temps est **nulle** ;
 - Avec près de **14%**, la probabilité d'avoir **19 personnes** infectées en même est la probabilité la plus élevée.
 - Entre **14 et 24 personnes** sont infectées avec un intervalle de confiance à **95 %**, ce qui représente entre **26% et 45 %** des 53 cas de légionellose de la troisième vague d'épidémie.

Cela signifie donc qu'au moins **55 % des 53 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie ont une probabilité nulle d'être infectés en même temps.

○ ***Avec une loi log normale (24 cas exposés)***

- La probabilité que **24 personnes** soient infectées en même temps est très faible de l'ordre de **0.03%** ;
- Avec près de **17 %**, la probabilité d'avoir **17 personnes** infectées en même est la probabilité la plus élevée.
- Entre **13 et 21 personnes** sont infectées avec un intervalle de confiance à **96 %**, ce qui représente entre **22 %** et **35 %** des 59 cas de légionellose de la troisième vague d'épidémie.

Cela signifie donc qu'au moins **65 % des 53 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie ont une probabilité nulle d'être infectés en même temps.

4) Source 4 : Lagune aérée

- **Description de la source potentielle de contamination**

Les effluents de l'usine "Noroxo" sont traités dans un système lagunaire avant rejet dans l'environnement. Un bassin tampon de 3000 m³ (bassin d'orage) et une lagune surélevée de 10 000 m³ permettent de traiter les rejets issus des processus industriels.

L'aération de la lagune est assurée par quatre aérateurs de surface et quatre agitateurs (aérateurs de fond) générateurs d'aérosols qui fournissent l'oxygène nécessaire à la prolifération des microorganismes (lagune aérée).

- **Niveaux de contamination de la source potentielle**

Nous disposons d'une seule information d'une contamination de l'eau de la lagune en date du 08/01/2004 avec un niveau égal à $2.1 \cdot 10^8$ UFC/l.

L'hypothèse de la contamination de la lagune aérée à partir du début de mois de décembre 2003 est liée aux apports de boues utilisées pour son ensemencement.

La figure ci-dessous représente l'histogramme du cumul d'apport de boues que nous prenons comme hypothèse d'une contamination de la lagune avant le mois de décembre 2003.

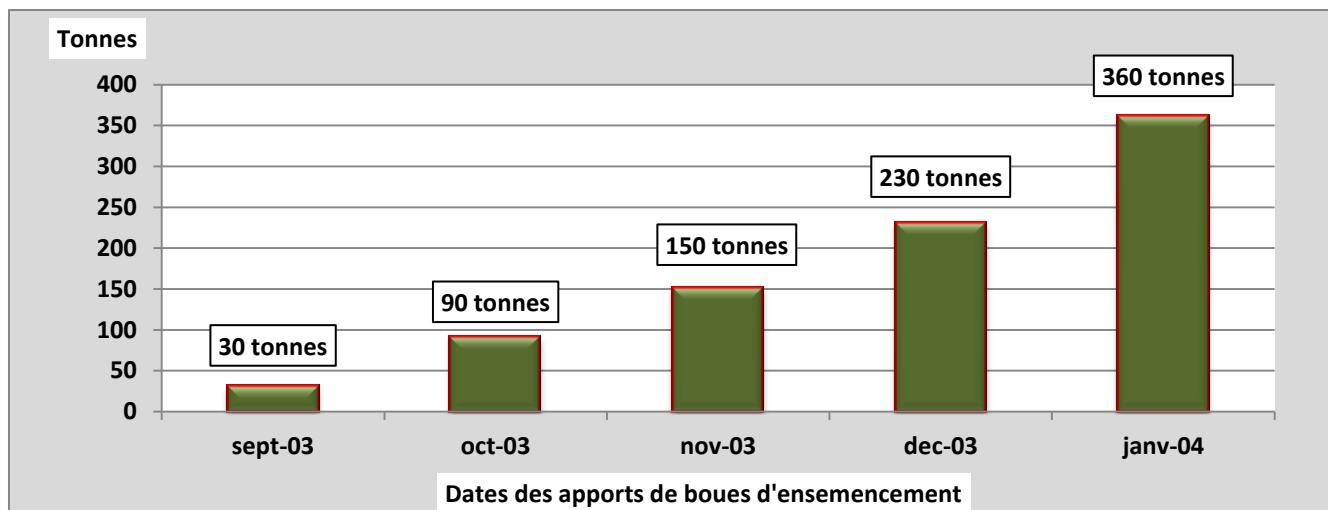


Figure 13 : Histogramme cumulé des apports de boues

Cet histogramme montre que les quantités de boues livrées augmentent considérablement à partir du 15 octobre 2003, la dernière livraison ayant eu lieu le 08 janvier 2004.

A partir de ces résultats donnant les quantités de boues livrées dans le temps, nous estimons les niveaux de contamination de la lagune durant l'épidémie de légionellose suivant deux hypothèses sur la méthode de calcul.

- *Première hypothèse sur l'estimation des niveaux de contamination*

En utilisant le coefficient de proportionnalité établissant un taux de concentration de $2,1 \cdot 10^8$ UFC/l relevé sur le site en janvier 2004 pour un apport de boues égales à 360 tonnes, nous estimons les niveaux de contamination entre septembre 2003 et décembre 2003.

La figure ci-dessous représente l'histogramme des niveaux de contamination estimés obtenus :

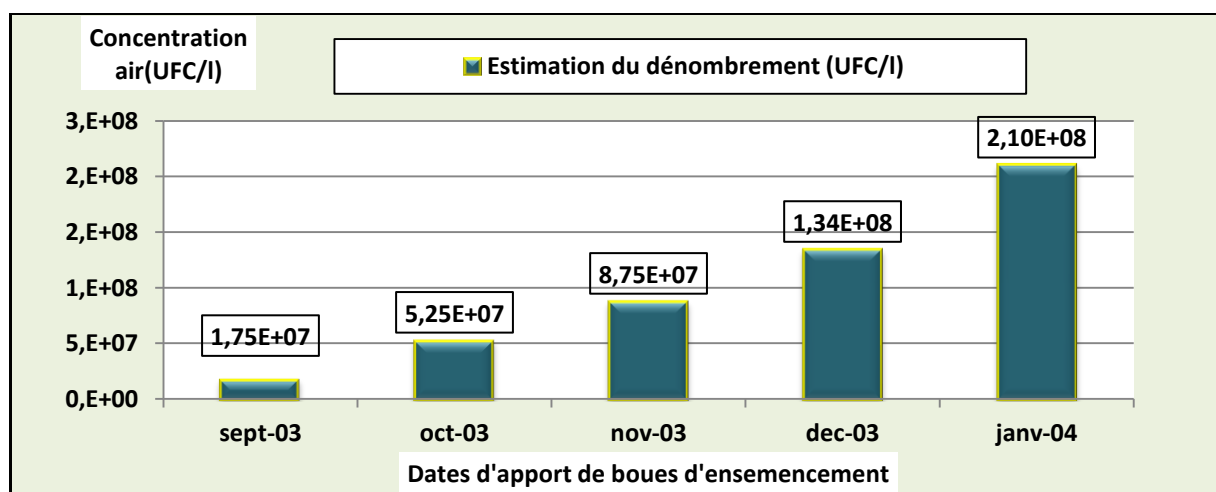


Figure 14 : Histogramme de l'estimation des niveaux de contamination de la lagune

Le tableau suivant détaille les résultats obtenus en fonction des phases d'arrêt et de fonctionnement des aérateurs de surface de la lagune pour les trois vagues d'épidémie.

Vagues d'épidémie	Dates	Dénombrement (UFC/l)	Concentration air (UFC/m³)	Flux de légionelles (UFC/s)	Agrégats
	01/09/2003	1,75.10 ⁷	4,03.10 ³	8,33.10 ³	++
	01/10/2003	5,25.10 ⁷	1,21.10 ⁴	2,50.10 ⁴	
Vague 1	01/11/2003	8,75.10 ⁷	2,01.10 ⁴	4,17.10 ⁴	
Vague 2	01/12/2003	1,34.10 ⁸	3,09.10 ⁴	6,39.10 ⁴	
Vague 3	01/01/2004	2,10.10 ⁸	4,83.10 ⁴	1,00.10 ⁵	
	20/01/2004	ARRET DEFINITIF DES AERATEURS DE SURFACE			

Tableau 26 : Chronologie des niveaux de contamination de la lagune

- *Deuxième hypothèse sur l'estimation des niveaux de contamination*

La seconde hypothèse de calcul pour l'estimation des niveaux de concentration en légionelles dans l'eau de la lagune utilise les deux assertions suivantes :

- 1) Le taux de concentration de 2,1 10⁸ UFC/l relevé sur le site en janvier 2004 pour un apport de boues égales à 360 tonnes.
- 2) Une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues (selon l'avis des experts).

La relation mathématique reliant l'estimation de la concentration dans l'eau en légionelles en fonction de la quantité de boues est donnée par l'équation suivante:

$$C = 10^{(Q+470)/100}$$

Avec :

Q = quantité de boues en tonnes ;

C = concentration en légionelles dans l'eau en UFC/l.

L'histogramme ci-dessous renseigne les résultats obtenus pour l'estimation des niveaux de concentration dans l'eau en légionelles.

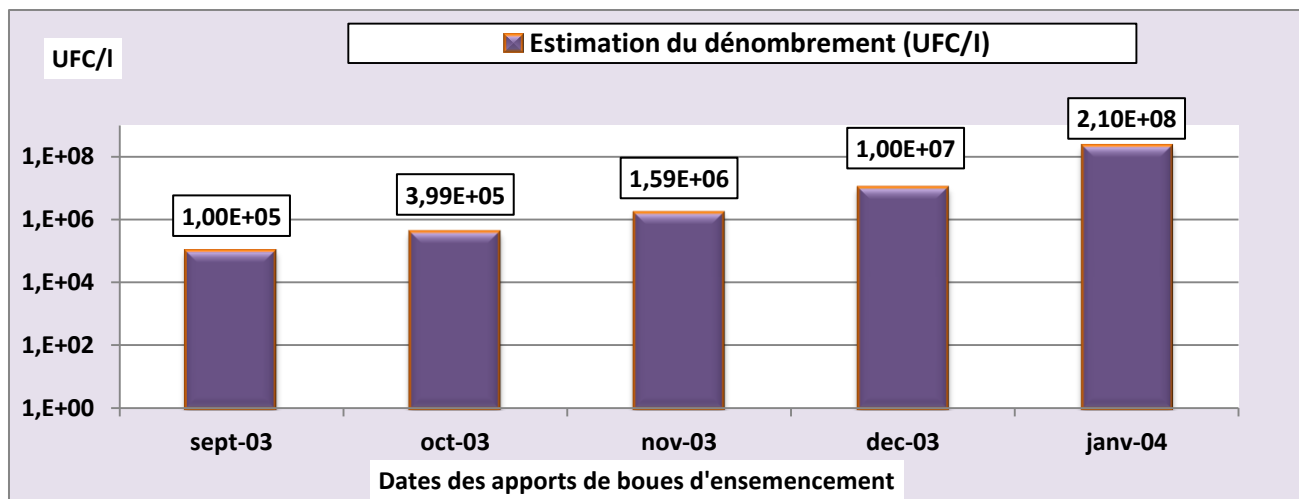


Figure 15 : Histogramme cumulé de l'estimation du niveau de contamination de la lagune

Le tableau suivant détaille les résultats obtenus en fonction des phases d'arrêt et de fonctionnement des aérateurs de surface de la lagune pour les trois vagues d'épidémie.

Vagues d'épidémie	Dates	Dénombrement (UFC/l)	Concentration air (UFC/m³)	Flux de légionelles (UFC/s)	Agrégats
	01/09/2003	10 ⁵	2,31.10	5,01.10	++
	01/10/2003	3,99.10 ⁵	9,18.10	2,00.10 ²	
Vague 1	01/11/2003	1,59.10 ⁶	3,65.10 ²	7,94.10 ²	
Vague 2	01/12/2003	10 ⁷	2,31.10 ³	5,01.10 ³	
Vague 3	01/01/2004	2,10.10 ⁸	4,83.10 ⁴	1,05.10 ⁵	
20/01/2004		ARRET DEFINITIF DES AERATEURS DE SURFACE			

Tableau 27 : Chronologie des niveaux de contamination de la lagune

- **Période de contamination de la source potentielle de contamination**

En fonction des phases d'arrêt et de fonctionnement des aérateurs de surface, nous déterminons les durées de contamination de la lagune et leur proportion relativement à chaque vague d'épidémie.

Le tableau ci-après renseigne les résultats obtenus pour les deux hypothèses de contamination de la lagune.

<i>Types de loi de probabilité</i>	<i>Vagues d'épidémie</i>	Nombre de jours par vague d'épidémie	Nombre de jours de contamination de l'installation	Pourcentage de jours par rapport à chaque vague	Pourcentage de jours par rapport à la durée totale de l'épidémie
<i>Uniforme</i>	Vague 1	16	16	100%	18%
	Vague 2	23	23	100%	26%
	Vague 3	50	47	94%	53%
	Total	89	86		97%
<i>Log-normale</i>	Vague 1	9	9	100%	11%
	Vague 2	23	23	100%	28%
	Vague 3	50	47	94%	57%
	Total	82	79		96%

Tableau 28 : Récapitulatif des durées de contamination de la lagune

En conclusion :

○ Avec une loi uniforme

La contamination des eaux de la lagunes'étend sur une durée totale de **86 jours** par rapport aux 89 jours de l'épidémie ce qui représente **97%** de la durée totale de l'épidémie.

○ Avec une loi log normale

La contamination des TAR s'étend sur une durée totale de **79 jours** par rapport aux 82 jours de l'épidémie ce qui représente **96%** de la durée totale de l'épidémie.

A partir de cette étude chronologique, nous déterminons le nombre de malades pouvant être exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés durant la période d'incubation de la maladie au cours de chaque vague d'épidémie.

• Nombre de malades pouvant être exposés à la source potentielle de contamination au cours de chaque vague d'épidémie

Les dates d'exposition durant le délai d'incubation de la maladie des 86 cas de légionellose nous permettent d'identifier la proportion de malades pouvant être exposés aux aérosols durant les phases de fonctionnement des TAR.

Les résultats obtenus pour les lois de probabilités prises en compte sont donnés dans le tableau ci-après :

<i>Types de loi de probabilité</i>	<i>Vagues</i>	Nombre de cas par vague	Nombre de cas infectés par vague	Pourcentage de cas par rapport à chaque vague	Pourcentage de cas par rapport aux 86 cas	Probabilité moyenne d'infection par cas	Probabilité d'être infectées en même temps
<i>Uniforme</i>	Vague 1	7	7	100%	8%	79%	20%
	Vague 2	26	26	100%	30%	84%	1%
	Vague 3	53	53	100%	62%	99%	80%
	Total	86	86		100%		
<i>Log-normale</i>	Vague 1	4	4	100%	5%	100%	100%
	Vague 2	23	23	100%	27%	100%	100%
	Vague 3	59	59	100%	69%	98%	41%
	Total	86	86		100%		

Tableau 29 : Proportion de la population contaminée pouvant être exposée à la lagune

En conclusion :

○ Avec une loi uniforme et log-normale

Sur les trois vagues d'épidémie, **100 % des 86 cas** ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés à la source potentielle de contamination.

Pour chaque type de loi de probabilité, nous procédons à l'étude de la probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps au cours de chaque vague d'épidémie.

• Probabilités conjointe des malades d'être infectés en même temps au cours de chaque vague d'épidémie

Nous déterminons la probabilité conjointe des malades d'être infectés en même temps durant la contamination de la station de lavage.

La probabilité conjointe correspond à la probabilité qu'un nombre n de malades parmi un nombre N maximal possible soient infectés en même temps.

Remarque : le détail des résultats obtenus pour le karcher est fourni en *Annexe 5*.

➤ Première vague d'épidémie

La répartition de la probabilité conjointe d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la première vague d'épidémie pour les deux types de lois est donnée dans l'histogramme suivant :

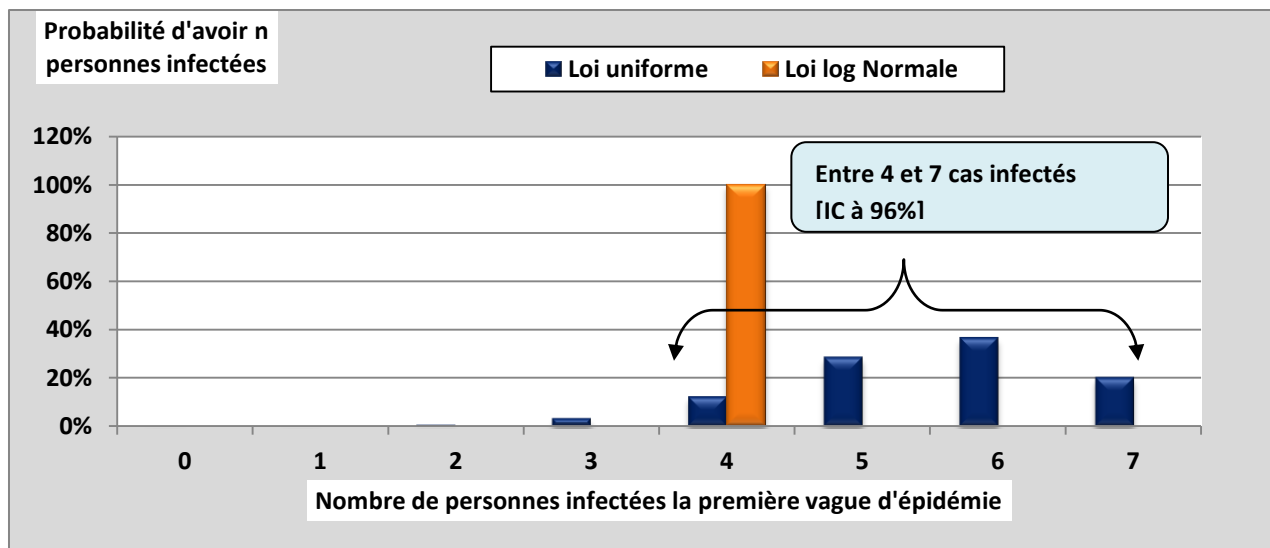


Figure 16 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7 pour la loi uniforme et de 0 à 4 pour la loi log normale) infectées en même temps

En conclusion :

○ Avec une loi uniforme (7 cas exposés)

- La probabilité pour que les **7 cas** de la première vague ne soient pas infectés en même temps est égale à 80%.
- Avec près de **36 %**, la probabilité d'avoir **6 personnes** infectées en même est la probabilité la plus élevée.
- **Entre 4 et 7 personnes** ont une probabilité d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 96 %**, ce qui représente entre **57% et 100% des 7 cas** de légionellose de la première vague d'épidémie.

○ Avec une loi log normale (4 cas exposés)

- La probabilité pour que les 4 cas de la première vague soient infectés en même temps est égale à 100%.

➤ Deuxième vague d'épidémie

La répartition des probabilités conjointes d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la deuxième vague d'épidémie pour chaque type de lois est donnée dans l'histogramme suivant :

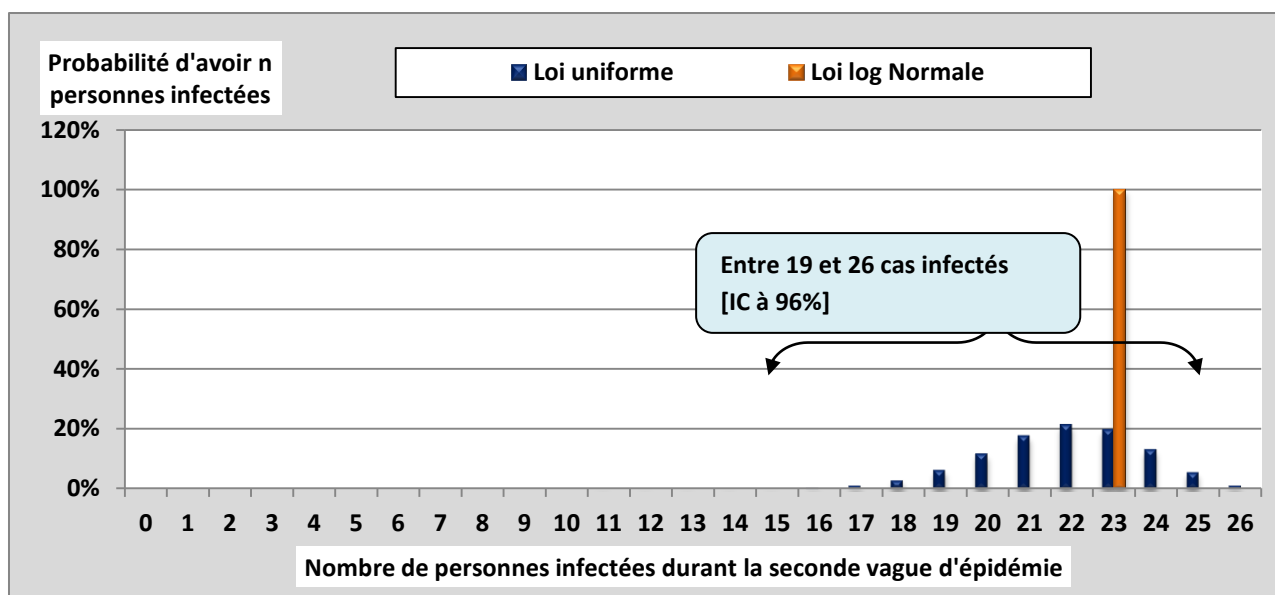


Figure 17 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26 pour la loi uniforme et de 0 à 23 pour la loi log normale) infectées en même temps

En conclusion :

○ Avec une loi uniforme (26 cas exposés)

- La probabilité que les 26 cas de légionellose de la seconde vague d'épidémie soient infectés en même temps est très faible de l'ordre de 1%.
- Avec plus de 24 %, la probabilité d'avoir 20 personnes infectées en même est la probabilité la plus élevée.
- **Entre 19 et 26 personnes** ont une probabilité d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 96 %**, ce qui représente entre **73% et 100% des 26 cas** de légionellose de la seconde vague d'épidémie.

○ Avec une loi log normale (23 cas exposés)

- La probabilité que les **23 cas** de la seconde vague d'épidémie soient infectés en même temps est égale à **100%**.

➤ Troisième vague d'épidémie

La répartition de la probabilité conjointe d'avoir n personnes infectées en même temps au cours de la troisième vague d'épidémie pour les deux types de lois est donnée dans l'histogramme suivant :

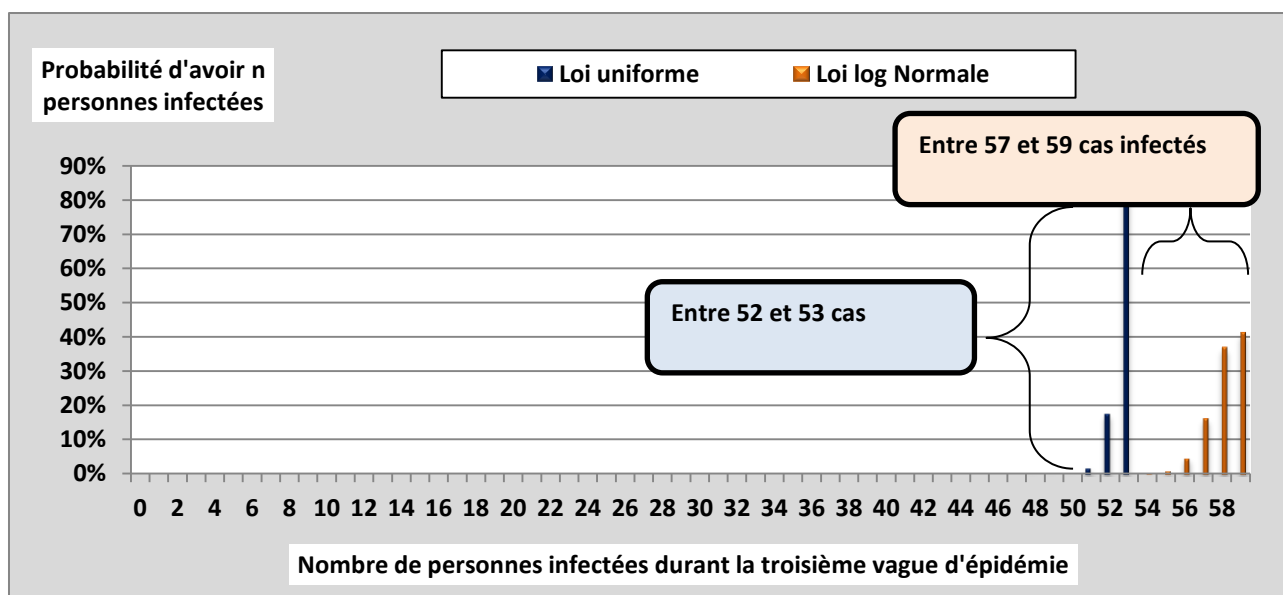


Figure 18 : Loi de probabilité d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 53 pour la loi uniforme et de 0 à 59 pour la loi log normale) infectées en même temps

En conclusion :

○ Avec une loi uniforme (53 cas exposés)

- La probabilité pour que les **53 cas de légionellose** de la troisième vague d'épidémie soient infectés en même temps est égale à **80 %**.
- **Entre 52 et 53 personnes** ont une probabilité non nulle d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 98 %**, ce qui représente entre **98% et 100% des 53 cas** de légionellose de la troisième vague d'épidémie.

○ Avec une loi log normale (59 cas exposés)

- La probabilité que les **59 cas** de la troisième vague d'épidémie soient infectés en même temps est égale à près de **40%**.
- **Entre 57 et 59 personnes** ont une probabilité d'être infectées en même temps avec un **intervalle de confiance à 96 %**, ce qui représente entre **96% et 100% des 59 cas** de légionellose de la seconde vague d'épidémie.

Nous donnons ci-après deux récapitulatifs des principaux résultats obtenus pour l'ensemble des sources potentielles de contamination.

Pour les durées de fonctionnement des installations industrielles à risque en tenant compte du nombre d'heures de fonctionnement hebdomadaire de chacune.

- 24h/24h pour les tours aéroréfrigérantes et les aérateurs de surface de la lagune ;
- 12h/jour pour le nettoyage au karcher ;
- 8h/jour pour la station de lavage des véhicules.

1) Récapitulatif des résultats obtenus sur les périodes de fonctionnement des sources potentielles de contamination

Le tableau ci-après détaille les durées de fonctionnement des installations industrielles à risque en tenant compte du nombre d'heures de fonctionnement hebdomadaire de chacune :

Type de loi de probabilité	Vague de l'épidémie	Durée (jours)	Dates	Risque potentiel lié à la source (Nbre jours fonctionnement installation -% jours par vague)			
				TAR	Karcher	Lagune	Station de lavage
Uniforme	Vague 1	16	26/10/2003 au 10/11/2003	16 (100%)		16 (100%)	
	Vague 2	23	11/11/2003 au 03/12/2003	21 (91%)		23 (100%)	
	Vague 3	50	04/12/2003 au 22/01/2004	12 (24%)	2,5 (5%)	47 (94%)	3 (6%)
	Durée totale de l'épidémie	89	26/10/2003 au 22/01/2004	49 (55%)	2,5 (2,8%)	86 (97%)	9 (10%)
Log normale	Vague 1	9	01/11/2003 au 09/11/2003	9 (100%)		16 (100%)	
	Vague 2	23	11/11/2003 au 03/12/2003	21 (91%)		23 (100%)	
	Vague 3	50	04/12/2003 au 22/01/2004	12 (24%)	2,5 (5%)	47 (94%)	3 (6%)
	Durée totale de l'épidémie	82	01/11/2003 au 22/01/2004	42 (51%)	2,5 (3%)	79 (96%)	9 (11%)

Tableau 30 : Récapitulatif des durées de fonctionnement des sources potentielles de contamination

2) Récapitulatif des résultats obtenus sur les proportions de malades exposés aux sources potentielles de contamination

Le tableau ci-après détaille les proportions de malades exposés aux installations en fonctionnement durant la période d'incubation de la maladie.

Type de loi de probabilité	Vague de l'épidémie	Durée (jours)	Dates	Nombre de cas	Risque potentiel lié à la source (Nbre cas -% cas par vague)			
					TAR	Karcher	Lagune	Station de lavage
Uniforme	Vague 1	16	26/10/03 au 10/11/03	7	7 (100%)		7 (100%)	
	Vague 2	23	11/11/03 au 03/12/03	26	23 (88%)		26 (100%)	
	Vague 3	50	04/12/03 au 22/01/04	53	26 (49%)	32 (60%)	53 (100%)	33 (62%)
	Durée totale de l'épidémie	89	26/10/03 au 22/01/04	86	56 (65%)	32 (37%)	86 (100%)	33 (38%)
Log normale	Vague 1	9	01/11/03 au 09/11/03	4	4 (100%)		4 (100%)	
	Vague 2	23	11/11/03 au 03/12/03	23	23 (100%)		23 (100%)	
	Vague 3	50	04/12/03 au 22/01/04	59	23 (39%)	16 (27%)	59 (100%)	24 (41%)
	Durée totale de l'épidémie	82	01/11/03 au 22/01/04	86	50 (58%)	16 (19%)	86 (100%)	24 (28%)

Tableau 31 : Récapitulatifs de la répartition des malades exposés pour chaque source potentielle de contamination

4.5. Etape 5 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

a. Classification et pondération des paramètres pour le calcul du risque potentiel

L'étude des sources potentielles de contamination nous permet d'affecter à chacune d'entre elles le quintuplé de paramètres suivants :

- Le flux de légionelles dans l'air suivant le type d'installation.
- Le facteur de dispersion des aérosols suivant le type d'installation.
- La durée d'émission des aérosols.
- Le pourcentage de malades pouvant être exposés et susceptibles d'être infectés.
- La possibilité d'agrégat.

Chaque paramètre possède donc une valeur bien définie suivant la source potentielle de contamination étudiée au cours de chacune des trois vagues successives d'épidémie.

Nous affectons ensuite la classe de risque puis le score pondéré correspondant à chaque paramètre suivant les tableaux de classification et de pondération établis dans la méthodologie générale (Cf.: Chapitre 2 de ce rapport).

Les deux hypothèses suivantes concernant les niveaux de contamination de la lagune sont prises en compte:

- *Hypothèse 1: Contamination des eaux de la lagune aérée proportionnellement aux apports de boues d'ensemencement.*
- *Hypothèse 2 : Contamination des eaux de la lagune aérée suivant une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues.*

Les différents résultats obtenus seront présentés pour chacune des ces deux hypothèses.

1. Hypothèse 1

Nous tenons compte d'une contamination des eaux de la lagune proportionnellement aux apports de boues. Nous obtenons les résultats détaillés dans les tableaux ci-après.

Les résultats sont renseignés pour chaque type de loi de probabilité et pour les trois vagues successives d'épidémie.

- *Classification des paramètres*

LOI UNIFORME								
Classes des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	5	2	5	5	5	2	2	4
Durée d'émission	5	5	5	5	5	4	3	3
Dispersion	1	3	1	3	1	3	2	1
Malades exposés	5	5	5	5	5	5	5	3
Possibilités d'agrégat	3	2	3	2	3	2	4	1

Tableau 32 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Uniforme

LOI LOG NORMALE								
Classes des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	5	2	5	5	5	2	2	4
Durée d'émission	5	5	5	5	5	4	3	3
Dispersion	1	3	1	3	1	3	2	1
Malades exposés	5	5	5	5	5	5	4	5
Possibilités d'agrégat	3	2	3	2	3	2	4	1

Tableau 33 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Log Normale

- *Pondération des classes par les scores*

LOI UNIFORME								
Scores des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	10 000	10	10 000	10 000	10 000	10	10	1 000
Durée d'émission	100	100	100	100	100	30	10	10
Dispersion	1	100	1	100	1	100	10	1
Malades exposés	100	100	100	100	100	100	100	10
Possibilités d'agrégat	75	50	75	50	75	50	100	1

Tableau 34 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Uniforme

LOI LOG NORMALE								
Scores des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	10 000	10	10 000	10 000	10 000	10	10	1 000
Durée d'émission	100	100	100	100	100	30	10	10
Dispersion	1	100	1	100	1	100	10	1
Malades exposés	100	100	100	100	100	100	30	100
Possibilités d'agrégat	75	50	75	50	75	50	100	1

Tableau 35 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Log Normale

2. Hypothèse 2

Nous tenons compte d'une contamination des eaux de la lagune suivant une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues.

Les résultats sont renseignés pour chaque type de loi de probabilité et pour les trois vagues successives d'épidémie.

- **Classification des paramètres**

LOI UNIFORME								
Classes des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	4	2	4	5	5	2	2	4
Durée d'émission	5	5	5	5	5	4	3	3
Dispersion	1	3	1	3	1	3	2	1
Malades exposés	5	5	5	5	5	5	5	3
Possibilités d'agrégat	3	2	3	2	3	2	4	1

Tableau 36 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Uniforme

LOI LOG NORMALE								
Classes des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	4	2	4	5	5	2	2	4
Durée d'émission	5	5	5	5	5	4	3	3
Dispersion	1	3	1	3	1	3	2	1
Malades exposés	5	5	5	5	5	5	4	5
Possibilités d'agrégat	3	2	3	2	3	2	4	1

Tableau 37 : Classification des valeurs des paramètres avec la loi Log Normale

- *Pondération des classes par les scores*

LOI UNIFORME								
Scores des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	1 000	10	1 000	10 000	10 000	10	10	1 000
Durée d'émission	100	100	100	100	100	30	10	10
Dispersion	1	100	1	100	1	100	10	1
Malades exposés	100	100	100	100	100	100	100	10
Possibilités d'agrégat	75	50	75	50	75	50	100	1

Tableau 38 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Uniforme

LOI LOG NORMALE								
Scores des paramètres	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3			
	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Lagune	TAR	Karcher	Station Lavage
Flux de légionelles air	1 000	10	1 000	10 000	10 000	10	10	1 000
Durée d'émission	100	100	100	100	100	30	10	10
Dispersion	1	100	1	100	1	100	10	1
Malades exposés	100	100	100	100	100	100	30	100
Possibilités d'agrégat	75	50	75	50	75	50	100	1

Tableau 39 : Scores pour chaque classe de paramètre avec la loi Log Normale

b. Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

La combinaison des scores obtenus permet de calculer le risque potentiel de contamination de chaque source étudiée.

Pour chacune des hypothèses 1 et 2 concernant les niveaux de contamination de la lagune, nous procédons au calcul de risque avec mais en fonction des deux hypothèses suivantes :

- **Hypothèse a :** *Prise en compte des quatre paramètres : flux de légionelles dans l'air, dispersion des aérosols, durée d'émission des aérosols et pourcentage de malades pouvant être exposés.*
- **Hypothèse b :** *Hypothèse a + prise en compte de la possibilité d'agrégat*

Les résultats obtenus sont renseignés dans les tableaux ci-après en fonction des deux hypothèses de contamination de la lagune prise en compte.

1. Hypothèse 1

Nous tenons compte d'une contamination des eaux de la lagune proportionnellement aux apports de boues.

Les résultats obtenus pour cette hypothèse sont détaillés dans les tableaux suivants en fonctions des deux hypothèses de prise en compte du paramètre de possibilité d'agrégats.

Le risque potentiel de chaque source est donné pour chaque type de loi de probabilité et pour les trois vagues successives d'épidémie.

- **Hypothèse a : Sans prise en compte de la possibilité d'agrégats d'infection**

<i>Sans prise en compte de la possibilité d'agrégats</i>							
Sources	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3		
	Risque Potentiel	Niveau max flux de légionelles	Risque Potentiel	Niveau max flux de légionelles	Risque Potentiel	Risque Potentiel	Niveau max flux de légionelles
	<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Loi Uniforme</i>	<i>Loi Log Normale</i>	
Lagune	91%	41 666	1%	63 888	96,899%	96,126%	105 000
TAR	9%	4,95	99%	7 625	2,907%	2,884%	19,96
Karcher					0,097%	0,029%	192
Station Lavage					0,097%	0,961%	1000

Tableau 40 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

- **Discussion**

Première vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable (**91%**).

L'étude de cette source a démontré que 100 % des 7 cas de cette première vague d'épidémie ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable (**99%**).

Cependant l'étude de cette source a démontré que 12 % (avec la loi Uniforme) des 26 cas de cette seconde vague d'épidémie ont une **probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Troisième vague d'épidémie

La Lagune est la source de contamination la plus probable (près de **97%** avec une loi Uniforme et **96 %** avec une loi Log Normale).

L'étude de cette source a démontré que 100 % des 53 cas de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

- **Hypothèse b : Avec prise en compte de la possibilité d'agrégats**

<i>Avec prise en compte de la possibilité d'agrégats</i>							
<i>Sources</i>	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3		
	Risque potentiel	Niveau max flux de légionelles	Risque potentiel	Niveau max flux de légionelles	Risque potentiel	Risque potentiel	Niveau max flux de légionelles
	<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Loi Uniforme</i>	<i>Loi Log normale</i>	
Lagune	93,75%	41 666	3%	63 888	97,910%	97,99%	105 000
TAR6	6,25%	4,95	97%	7 625	1,958%	1,96%	19,96
Karcher					0,987%	0,30%	192
Station Lavage					0,001%	0,01%	1000

Tableau 41 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

- **Discussion**

Première vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable (prés de **94%**).

L'étude de cette source a démontré que 100 % des 7 cas de cette première vague d'épidémie ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable (**97%**).

Cependant l'étude de cette source a démontré que 12 % (avec la loi Uniforme) des 26 cas de cette seconde vague d'épidémie ont **une probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Troisième vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable (prés de **97%**).

L'étude de cette source a démontré que 100 % des 53 cas de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

2. Hypothèse 2

Nous prenons en compte une contamination des eaux de la lagune suivant une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues.

Les résultats obtenus pour cette hypothèse sont détaillés dans les tableaux suivants en fonctions des deux hypothèses de prise en compte du paramètre de possibilité d'agrégats.

Le risque potentiel de chaque source est donné pour chaque type de loi de probabilité et pour les trois vagues successives d'épidémie.

- **Hypothèse a : Sans prise en compte de la possibilité d'agrégats**

<i>Sans prise en compte de la possibilité d'agrégats</i>							
<i>Sources</i>	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3		
	Risque potentiel	Niveau max flux de légionelles	Risque potentiel	Niveau max flux de légionelles	Risque potentiel	Risque potentiel	Niveau max flux de légionelles
	<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Loi Uniforme</i>	<i>Loi log normale</i>	
Lagune	50%	200	0,1%	794	96,899%	96,126%	105 000
TAR	50%	4,95	99,9%	7 625	2,907%	2,884%	19,96
Karcher					0,987%	0,029%	192
Station Lavage					0,001%	0,961%	1000

Tableau 42 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

- **Discussion**

Première vague d'épidémie

La conjugaison des deux sources potentielles de contamination (TAR avec **50%** et lagune avec **50%**) est l'origine de contamination la plus probable avec un risque potentiel cumulé à 100%.

L'étude de ces sources potentielles a démontré que 100% des cas de cette première vague d'épidémie ont une probabilité non nulle d'avoir été exposés à ces deux installations.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable (**99,9%**).

Cependant l'étude de cette source a démontré que 12 % (avec la loi Uniforme) des 26 cas de cette seconde vague d'épidémie ont **une probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Troisième vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable (près de **97%** avec une loi Uniforme et **96 %** avec une loi Log Normale).

L'étude de cette source a démontré que 100 % des 53 cas de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

- **Hypothèse b : Avec prise en compte de la possibilité d'agrégats**

<i>Avec prise en compte de la possibilité d'agrégats</i>							
Sources	VAGUE 1		VAGUE 2		VAGUE 3		
	Risque potentiel	Niveau max flux de légionnelles	Risque potentiel	Niveau max flux de légionnelles	Risque potentiel	Risque potentiel	Niveau max flux de légionnelles
	<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Lois Uniforme & Log normale</i>		<i>Loi Uniforme</i>	<i>Loi log normale</i>	
Lagune	60%	200	0,1%	794	97,910%	97,988%	105 000
TAR	40%	4,95	99,9%	7 625	1,958%	1,960%	19,96
Karcher					0,987%	0,298%	192
Station Lavage					0,001%	0,010%	1000

Tableau 43 : Hiérarchisation des sources potentielles de contamination

- **Discussion**

Première vague d'épidémie

La conjugaison des deux sources potentielles de contamination (lagune avec 60% et lagune et TAR avec 40%) est l'origine de contamination la plus probable avec un risque potentiel cumulé à 100%.

L'étude de ces sources potentielles a démontré que 100% des cas de cette première vague d'épidémie ont une probabilité non nulle d'avoir été exposés à ces deux installations.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable (99,9%).

Cependant l'étude de cette source a démontré que 12 % (avec la loi Uniforme) des 26 cas de cette seconde vague d'épidémie ont **une probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Troisième vague d'épidémie

La Lagune est la source de contamination la plus probable (près de 98% avec une loi Uniforme et Log Normale).

L'étude de cette source a démontré que 100 % des 53 cas de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

Nous donnons ci-après le tableau récapitulatif des principaux résultats obtenus pour la hiérarchisation des sources potentielles de contamination.

Hypothèse a	Prise en compte des quatre paramètres : flux de légionelles dans l'air, dispersion des aérosols, durée d'émission des aérosols et pourcentage de malades pouvant être exposés			
Hypothèse b	Hypothèse a + prise en compte de la possibilité d'agrégats			
Scénario 1	Contamination des eaux de la lagune proportionnellement aux apports de boues			
Scénario 2	Contamination des eaux de la lagune suivant une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues.			
Sources	VAGUE 1 : Loi Uniforme (16 jours et 7 cas) et Log Normale (9 jours et 4 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	91%	50%	93,75%	60%
TAR	9%	50%	6,25%	40%
Sources	VAGUE2 Loi Uniforme (23 jours et 26 cas) et Log Normale (23 jours et 23 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	1%	0,1%	3%	0,1%
TAR	99%	99,9%	97%	99,9%
Sources	VAGUE 3 : Loi Uniforme (50 jours et 53 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	96,899%	96,899%	97,910%	97,910%
TAR	2,907%	2,907%	1,958%	1,958%
Karcher	0,097%	0,987%	0,131%	0,131%
Station de lavage	0,097%	0,001%	0,001%	0,001%
Sources	VAGUE 3 : Log Normale (50 jours et 59 cas)			
	Hypothèse a		Hypothèse b	
	Scénario 1 Lagune	Scénario 2 Lagune	Scénario 1Lagune	Scénario 2 Lagune
Lagune	96,126%	96,126%	97,99%	97,988%
TAR	2,884%	2,884%	1,96%	1,960%
Karcher	0,029%	0,029%	0,04%	0,039%
Station de lavage	0,961%	0,961%	0,01%	0,013%

Tableau 44 : Récapitulatif de la hiérarchisation des sources potentielles

A partir de la hiérarchisation des sources potentielles de contamination nous proposons deux scénarios probables en fonction des deux hypothèses émises sur les niveaux de contamination des eaux de la lagune aérée.

La différence entre les deux scénarios repose sur les résultats obtenus sur la première vague d'épidémie.

- **Scénario 1**

Le scénario 1 repose sur l'hypothèse d'une contamination des eaux de la lagune aérée proportionnellement aux apports de boues d'ensemencement.

Première vague d'épidémie

La lagune est la source de contamination la plus probable avec plus de **90 %** de risque quelque soit les hypothèses émises sur la prise en compte des paramètres. L'étude de cette source a en effet démontré que 100 % des 7 cas de cette première vague d'épidémie ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable avec plus de **95%de risque** quelque soit les hypothèses émises sur la prise en compte des paramètres.

Cependant l'étude de cette source a démontré que **12 % des 26 cas** (avec la loi Uniforme) de cette seconde vague d'épidémie ont une **probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Néanmoins la prise en compte d'une loi Log Normale démontre quant à elle que **100 % des 23 cas** de cette seconde vague d'épidémie ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés.

Troisième vague d'épidémie

La Lagune est la source de contamination la plus probable avec plus de **97% de risque**.

L'étude de cette source a démontré que **100 % des cas** de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune.

- **Scénario 2**

Le scénario 2 repose sur l'hypothèse d'une contamination des eaux de la lagune suivant une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en légionelles tous les 100 à 110 tonnes de boues.

Première vague d'épidémie

La conjugaison des deux sources potentielles de contamination est l'origine de contamination la plus probable avec un risque potentiel cumulé à 100% avec :

–Lagune et TAR ayant respectivement **50%de risque potentiel** chacune sans prise en compte de la possibilité d'agrégats.

–Lagune ayant **60 % de risque potentiel** et TAR ayant **40 % de risque potentiel** en tenant compte de la possibilité d'agrégats.

L'étude de ces sources potentielles a démontré en outre que **100% des cas** de cette première vague d'épidémie ont une probabilité non nulle d'avoir été exposés à ces deux installations.

Deuxième vague d'épidémie

La TAR est la source de contamination la plus probable (avec plus de **99% de risque potentiel**).

Cependant l'étude de cette source a démontré que 12 % (avec la loi Uniforme) des 26 cas de cette seconde vague d'épidémie ont **une probabilité nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la TAR.

Cela signifie donc que la TAR ne peut être à elle seule, l'unique responsable de la seconde vague d'épidémie.

Troisième vague d'épidémie

La Lagune est la source de contamination la plus probable (près de **97% de risque potentiel** avec une loi Uniforme ou Log Normale).

L'étude de cette source a démontré que **100 % des cas** de cette vague ont une **probabilité non nulle** d'avoir été exposés et donc susceptibles d'avoir été infectés par la lagune

ANNEXES

5. ANNEXES

Annexe 1 : Analyse de sensibilité

Cette annexe présente les résultats de l'analyse de sensibilité de la loi de probabilité de la date d'exposition en fonction du choix de la loi de probabilité sur le délai d'incubation de la maladie. Nous effectuons différentes hypothèses sur la répartition du temps d'incubation de la maladie.

- **Loi uniforme pour la loi de probabilités du délai d'incubation de la maladie en fonction de la distribution journalière des cas incidents**

- *Pour un délai d'incubation entre 2 à 10 jours.*

Pour une date d'apparition des symptômes nous obtenons :

Date de chaque jour du délai d'incubation	Probabilité par jour pour la période d'incubation
21/11/2003	11%
22/11/2003	11%
23/11/2003	11%
24/11/2003	11%
25/11/2003	11%
26/11/2003	11%
27/11/2003	11%
28/11/2003	11%
29/11/2003	11%

Tableau 45 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes

Pour trois dates possibles d'apparition des symptômes nous obtenons:

Date de chaque jour du délai d'incubation	Probabilité par jour pour la période d'incubation
21/11/2003	4%
22/11/2003	7%
23/11/2003	11%
24/11/2003	11%
25/11/2003	11%
26/11/2003	11%
27/11/2003	11%
28/11/2003	11%
29/11/2003	11%
30/11/2003	7%
01/12/2003	4%

Tableau 46 : Probabilité pour trois dates d'apparition des symptômes

La loi de probabilités obtenue pour les 86 cas est donnée dans le graphe ci-dessous :

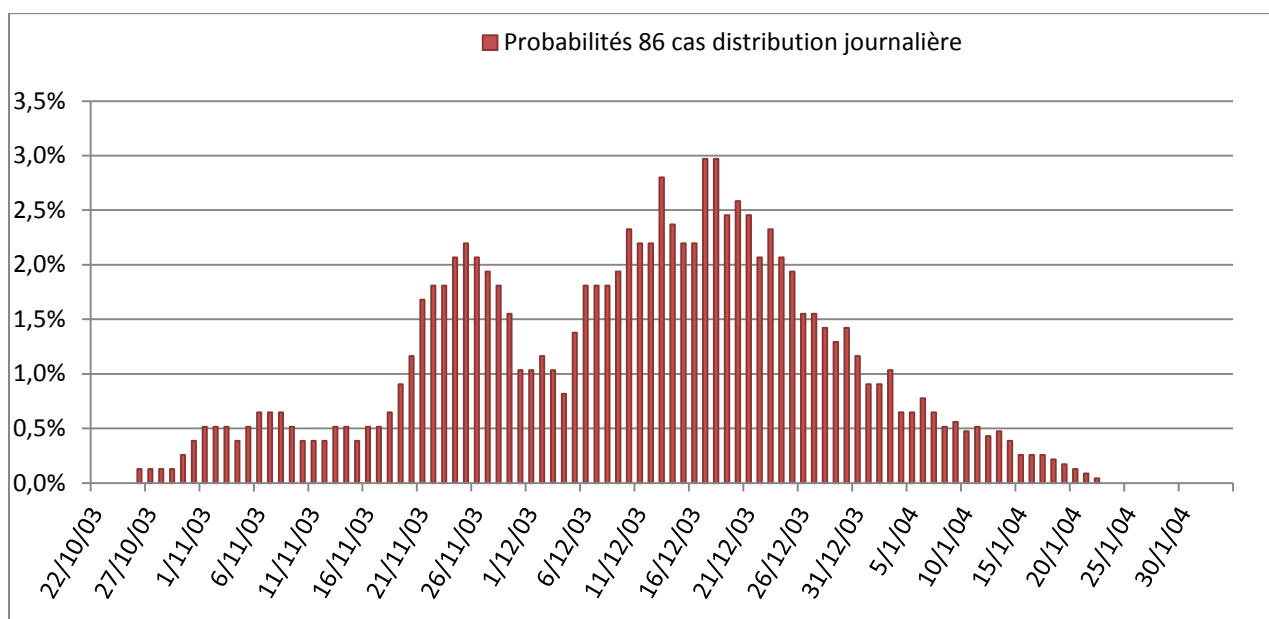


Figure 19 : Loi de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents

La comparaison avec les résultats entre une distribution journalière et tri-journalière est donnée dans la figure ci dessous :

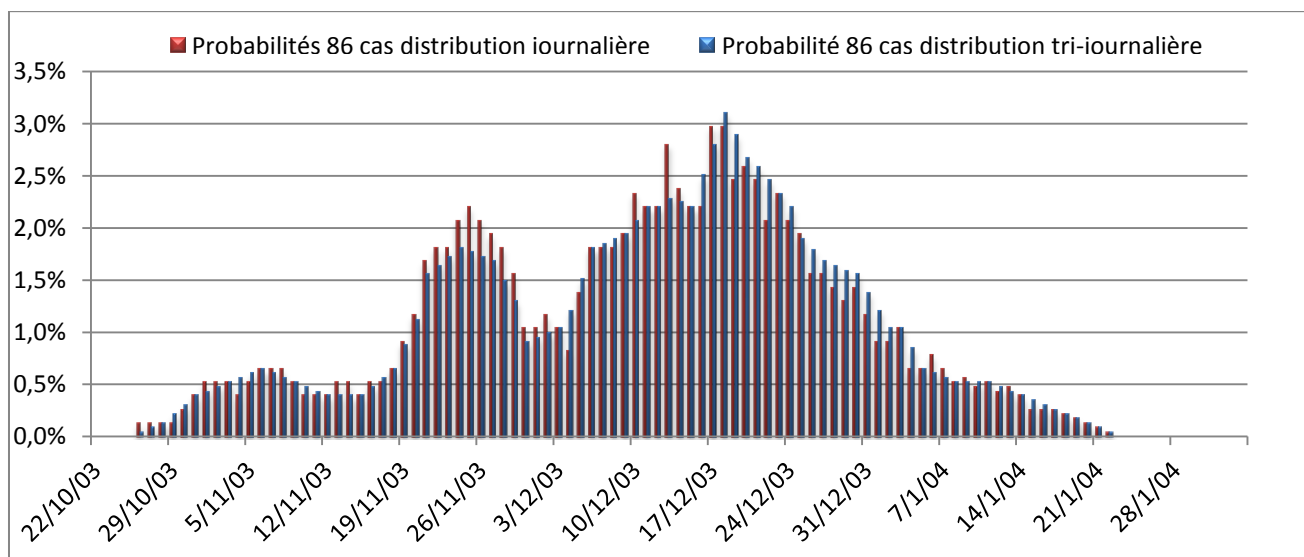


Figure 20 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents

En conclusion :

Nous constatons très peu de différence.

La distribution tri-journalière au lieu d'une distribution journalière des cas incidents n'a pas d'impact significatif sur la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraînée l'apparition des symptômes.

Nous avons déterminé la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraîné l'apparition des symptômes suivant les lois suivantes :

- ***Loi normale bornée entre 2 et 10 jours***

- Pour une date d'apparition des symptômes la distribution est la suivante

1 date d'apparition des symptômes	
Jours	Pourcentage
2	3%
3	7%
4	12%
5	18%
6	20%
7	18%
8	12%
9	7%
10	3%

Tableau 47 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes

- Pour trois dates d'apparition des symptômes la distribution est la suivante :

3 dates d'apparition des symptômes	
Jours	Pourcentage
1	1%
2	3%
3	7%
4	12%
5	17%
6	19%
7	17%
8	12%
9	7%
10	3%
11	1%

Tableau 48 : Probabilité pour 3 dates d'apparition des symptômes

A partir de la définition de la distribution du délai d'incubation suivant une loi normale bornée entre 2 et 6 jours nous obtenons la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraînée l'apparition des symptômes suivante :

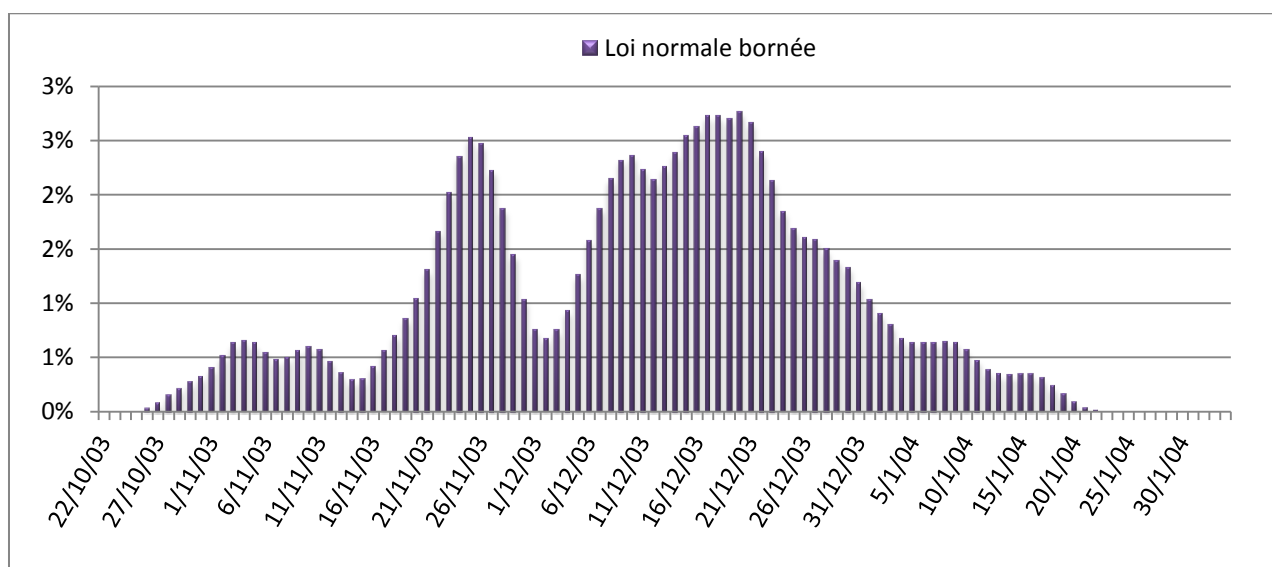


Figure 21 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents

En conclusion :

Nous retrouvons les trois vagues d'épidémie et une durée de 86 jours pour l'étendue de celle-ci identique au résultat obtenu avec la loi uniforme.

- **Loi triangulaire bornée entre 2 et 10 jours**

- Pour une date d'apparition des symptômes la distribution est la suivante :

1 date d'apparition des symptômes	
Jours	Pourcentage
2	0%
3	6%
4	13%
5	19%
6	25%
7	19%
8	13%
9	6%
10	0%

Tableau 49 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes

- Pour trois dates d'apparition des symptômes la distribution est la suivante :

3 dates d'apparition des symptômes	
Jours	Pourcentage
1	0%
2	2%
3	6%
4	13%
5	19%
6	21%
7	19%
8	13%
9	6%
10	2%
11	0%

Tableau 50 : Probabilité pour 3 dates d'apparition des symptômes

A partir de la définition de la distribution du délai d'incubation suivant une loi triangulaire bornée entre 2 et 10 jours nous obtenons la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraînée l'apparition des symptômes suivante

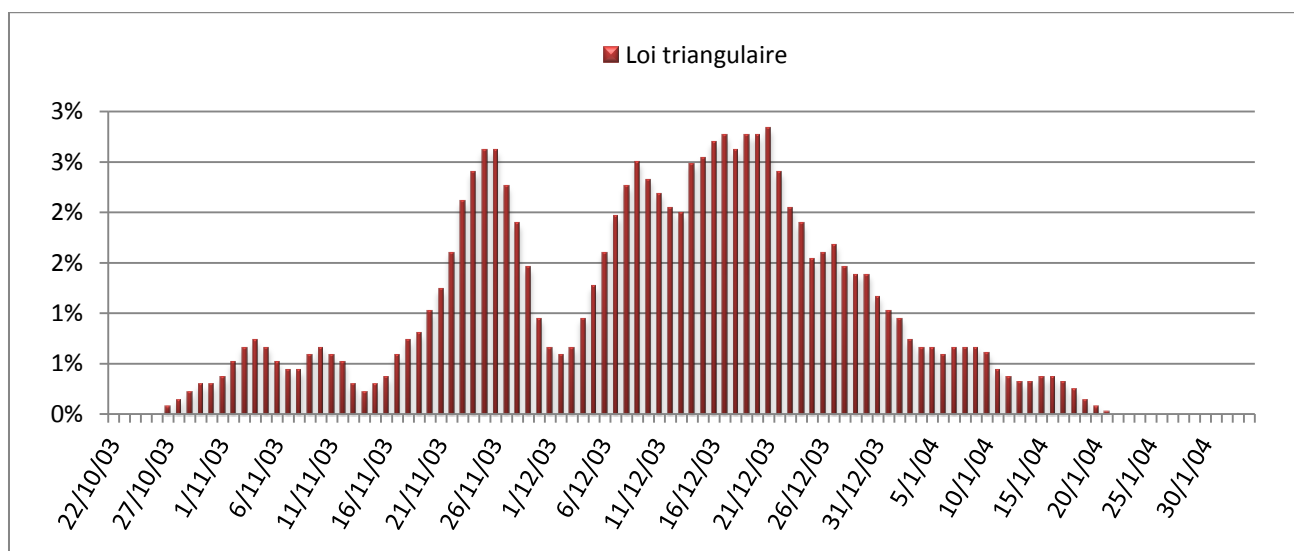


Figure 22 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents

En conclusion :

Nous retrouvons les trois vagues d'épidémie et une durée de 86 jours pour l'étendue de celle-ci identique au résultat obtenu avec la loi uniforme

- Loi log normale bornée entre 2 et 10 jours

- Pour une date d'apparition des symptômes la distribution est la suivante :

1 date d'apparition des symptômes	
Jours	Pourcentage
2	57%
3	40%
4	3%
5	0%
6	0%
7	0%
8	0%
9	0%
10	0%

Tableau 51 : Probabilité pour une date d'apparition des symptômes

- Pour trois dates d'apparition des symptômes la distribution est la suivante :

3 dates d'apparition des symptômes	
Jours	Pourcentage
1	38%
2	32%
3	15%
4	14%
5	0%
6	0%
7	0%
8	0%
9	0%
10	0%
11	0%

Tableau 52 : Probabilité pour 3 dates d'apparition des symptômes

A partir de la définition de la distribution du délai d'incubation suivant une loi log normale nous obtenons la loi de probabilité de la date d'exposition ayant entraînée l'apparition des symptômes suivante :

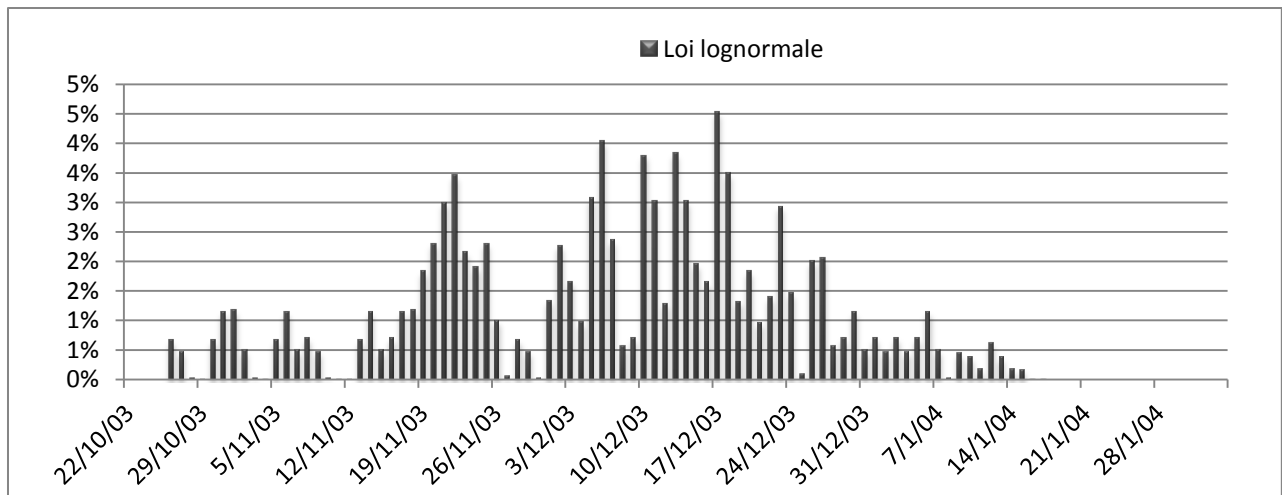


Figure 23 : Lois de probabilité des dates d'exposition en fonction de la distribution journalière des cas incidents

En conclusion :

Nous constatons toujours globalement trois vagues d'épidémie ponctuées par des arrêts en elles et l'étendue des dates d'exposition est de 83 jours.

En prenant une loi log normale :

- les dates d'exposition débutent le 26/10/2003 et se terminent le 15/01/2004.

En prenant une loi normale bornée, uniforme ou triangulaire bornée entre 2 et 10 jours :

-les dates d'exposition débutent le 26/10/2003 et se terminent le 22/01/2004.

La figure ci-dessous compare les fonctions de répartition des différentes lois de probabilités de la date d'exposition obtenue.

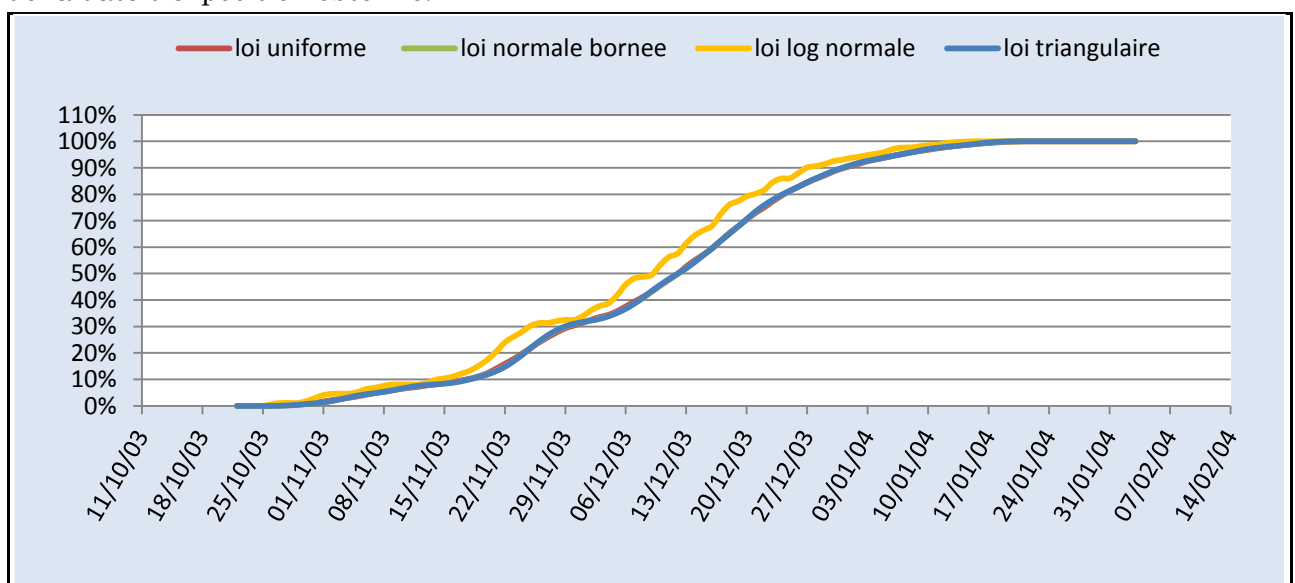


Figure 24 : Fonctions de répartition de la date d'exposition

En conclusion :

Les fonctions de répartition de la date d'exposition suivant les lois : uniforme, normale bornée et triangulaire sont confondues ; cela signifie que le choix de l'une de ces lois n'a pas d'impact significatif sur la loi de probabilité de la date d'exposition.

Seule la fonction de répartition de la date d'exposition suivant la loi log normale se différencie des autres.

Cela signifie que le choix de ce type de loi comparativement aux précédentes peut avoir un impact remarquable sur les résultats issus de la loi de probabilité de la date d'exposition suivant le choix d'une loi log normale.

Annexe 2 : Résultats pour les TAR

Nombre de Personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1,593E-05	1	0,0%
1	6,127E-05	7	0,0%
2	0,00023565	21	0,5%
3	0,00090636	35	3,2%
4	0,00348599	35	12,2%
5	0,01340766	21	28,2%
6	0,05156791	7	36,1%
7	0,19833812	1	19,8%

Tableau 53 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de personnes infectées avec la loi log normale	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1E-32	1	0%
1	1E-24	4	0%
2	1E-16	6	0%
3	1E-08	4	0%
4	1	1	100%

Tableau 54 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 4) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi log normale

Nombre de personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	6,1144E-21	1	0%
1	4,0146E-20	23	0%
2	2,6359E-19	253	0%
3	1,7307E-18	1771	0%
4	1,1363E-17	8855	0%
5	7,4608E-17	33649	0%
6	4,8986E-16	100947	0%
7	3,2163E-15	245157	0%
8	2,1118E-14	490314	0%
9	1,3865E-13	817190	0%
10	9,1038E-13	1144066	0%
11	5,9773E-12	1352078	0%
12	3,9246E-11	1352078	0%
13	2,5768E-10	1144066	0%
14	1,6919E-09	817190	0%
15	1,1109E-08	490314	1%
16	7,2936E-08	245157	2%
17	4,7888E-07	100947	5%
18	3,1443E-06	33649	11%
19	2,0644E-05	8855	18%
20	0,00013555	1771	24%
21	0,00088998	253	23%
22	0,00584339	23	13%
23	0,03836649	1	4%

Tableau 55 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de	Probabilité	Nombre de com-	Probabilité d'avoir n personnes
-----------	-------------	----------------	---------------------------------

personnes infectées avec la loi log normale	d'un événement	binaires de l'événement	infectées
0	8,259E-21	1	0%
1	5,3415E-20	23	0%
2	3,4546E-19	253	0%
3	2,2343E-18	1771	0%
4	1,445E-17	8855	0%
5	9,3459E-17	33649	0%
6	6,0445E-16	100947	0%
7	3,9093E-15	245157	0%
8	2,5283E-14	490314	0%
9	1,6352E-13	817190	0%
10	1,0576E-12	1144066	0%
11	6,8399E-12	1352078	0%
12	4,4237E-11	1352078	0%
13	2,8611E-10	1144066	0%
14	1,8504E-09	817190	0%
15	1,1968E-08	490314	1%
16	7,7401E-08	245157	2%
17	5,0059E-07	100947	5%
18	3,2376E-06	33649	11%
19	2,0939E-05	8855	19%
20	0,00013542	1771	24%
21	0,00087587	253	22%
22	0,00566469	23	13%
23	0,03663654	1	4%

Tableau 56 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi log normale

Nombre de personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	2,1589E-11	1	0%
1	3,3931E-11	26	0%
2	5,333E-11	325	0%
3	8,3819E-11	2600	0%
4	1,3174E-10	14950	0%
5	2,0706E-10	65780	0%
6	3,2543E-10	230230	0%
7	5,1148E-10	657800	0%
8	8,0391E-10	1562275	0%
9	1,2635E-09	3124550	0%
10	1,9859E-09	5311735	1%
11	3,1212E-09	7726160	2%
12	4,9056E-09	9657700	5%
13	7,7103E-09	10400600	8%
14	1,2118E-08	9657700	12%
15	1,9046E-08	7726160	15%
16	2,9936E-08	5311735	16%
17	4,705E-08	3124550	15%
18	7,3949E-08	1562275	12%
19	1,1623E-07	657800	8%
20	1,8267E-07	230230	4%
21	2,8711E-07	65780	2%
22	4,5126E-07	14950	1%
23	7,0924E-07	2600	0%
24	1,1147E-06	325	0%
25	1,752E-06	26	0%
26	2,7537E-06	1	0%

Tableau 57 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de personnes infectées avec la loi log normale	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1,6019E-20	1	0%
1	1,002E-19	23	0%
2	6,2683E-19	253	0%
3	3,9211E-18	1771	0%
4	2,4529E-17	8855	0%
5	1,5344E-16	33649	0%
6	9,5985E-16	100947	0%
7	6,0044E-15	245157	0%
8	3,756E-14	490314	0%
9	2,3496E-13	817190	0%
10	1,4698E-12	1144066	0%
11	9,1943E-12	1352078	0%
12	5,7515E-11	1352078	0%
13	3,5979E-10	1144066	0%
14	2,2507E-09	817190	0%
15	1,4079E-08	490314	1%
16	8,8072E-08	245157	2%
17	5,5094E-07	100947	6%
18	3,4464E-06	33649	12%
19	2,1559E-05	8855	19%
20	0,00013486	1771	24%
21	0,00084364	253	21%
22	0,00527738	23	12%
23	0,03301279	1	3%

Tableau 58 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale

Annexe 3 : Résultats pour le Karcher

Nombre de personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1,8965E-06	1	0%
1	9,6613E-07	32	0%
2	4,9218E-07	496	0%
3	2,5073E-07	4960	0%
4	1,2773E-07	35960	0%
5	6,5071E-08	201376	1%
6	3,3149E-08	906192	3%
7	1,6887E-08	3365856	6%
8	8,603E-09	10518300	9%
9	4,3827E-09	28048800	12%
10	2,2327E-09	64512240	14%
11	1,1374E-09	129024480	15%
12	5,7943E-10	225792840	13%
13	2,9518E-10	347373600	10%
14	1,5038E-10	471435600	7%
15	7,6607E-11	565722720	4%
16	3,9026E-11	601080390	2%
17	1,9881E-11	565722720	1%
18	1,0128E-11	471435600	0%
19	5,1596E-12	347373600	0%
20	2,6285E-12	225792840	0%
21	1,339E-12	129024480	0%
22	6,8215E-13	64512240	0%
23	3,4751E-13	28048800	0%
24	1,7703E-13	10518300	0%
25	9,0187E-14	3365856	0%
26	4,5944E-14	906192	0%
27	2,3406E-14	201376	0%
28	1,1924E-14	35960	0%
29	6,0743E-15	4960	0%
30	3,0945E-15	496	0%
31	1,5764E-15	32	0%
32	8,0308E-16	1	0%

Tableau 59 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 32) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de personnes infectées avec la loi log normale	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	2,0452E-07	1	0%
1	3,3105E-07	16	0%
2	5,3586E-07	120	0%
3	8,6737E-07	560	0%
4	1,404E-06	1820	0%
5	2,2726E-06	4368	1%
6	3,6785E-06	8008	3%
7	5,9542E-06	11440	7%
8	9,6379E-06	12870	12%
9	1,56E-05	11440	18%
10	2,5252E-05	8008	20%
11	4,0874E-05	4368	18%
12	6,6161E-05	1820	12%
13	0,00010709	560	6%
14	0,00017334	120	2%
15	0,00028059	16	0%
16	0,00045417	1	0%

Tableau 60 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 16) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale

Annexe 4- Résultats pour la station de lavage

Nombre de personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	3,6917E-13	1	0%
1	5,0981E-13	33	0%
2	7,0402E-13	528	0%
3	9,7222E-13	5456	0%
4	1,3426E-12	40920	0%
5	1,854E-12	237336	0%
6	2,5603E-12	1107568	0%
7	3,5357E-12	4272048	0%
8	4,8827E-12	13884156	0%
9	6,7427E-12	38567100	0%
10	9,3114E-12	92561040	0%
11	1,2859E-11	193536720	0%
12	1,7757E-11	354817320	1%
13	2,4522E-11	573166440	1%
14	3,3863E-11	818809200	3%
15	4,6764E-11	1037158320	5%
16	6,4578E-11	1166803110	8%
17	8,9179E-11	1166803110	10%
18	1,2315E-10	1037158320	13%
19	1,7007E-10	818809200	14%
20	2,3486E-10	573166440	13%
21	3,2432E-10	354817320	12%
22	4,4788E-10	193536720	9%
23	6,185E-10	92561040	6%
24	8,5411E-10	38567100	3%
25	1,1795E-09	13884156	2%
26	1,6288E-09	4272048	1%
27	2,2493E-09	1107568	0%
28	3,1062E-09	237336	0%
29	4,2895E-09	40920	0%
30	5,9236E-09	5456	0%
31	8,1802E-09	528	0%
32	1,1297E-08	33	0%
33	1,56E-08	1	0%

Tableau 61 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 33) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de personnes infectées avec la loi log normale	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	7,7086E-14	1	0%
1	1,9415E-13	24	0%
2	4,89E-13	276	0%
3	1,2316E-12	2024	0%
4	3,102E-12	10626	0%
5	7,813E-12	42504	0%
6	1,9678E-11	134596	0%
7	4,9562E-11	346104	0%
8	1,2483E-10	735471	0,01%
9	3,144E-10	1307504	0,04%
10	7,9187E-10	1961256	0,16%
11	1,9944E-09	2496144	0,50%
12	5,0233E-09	2704156	1,36%
13	1,2652E-08	2496144	3,16%
14	3,1866E-08	1961256	6,25%
15	8,0259E-08	1307504	10,49%
16	2,0214E-07	735471	14,87%
17	5,0913E-07	346104	17,62%
18	1,2823E-06	134596	17,26%
19	3,2297E-06	42504	13,73%
20	8,1345E-06	10626	8,64%
21	2,0488E-05	2024	4,15%
22	5,1602E-05	276	1,42%
23	0,00012997	24	0,31%
24	0,00032734	1	0,03%

Tableau 62 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 24) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale

Annexe 5- Résultats pour la lagune aérée

Nombre de Personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1,559E-05	1	0%
1	6,0195E-05	7	0%
2	0,00023242	21	0%
3	0,0008974	35	3%
4	0,00346498	35	12%
5	0,01337866	21	28%
6	0,0516565	7	36%
7	0,19945148	1	20%

Tableau 63 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 7) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de personnes infectées avec la loi log normale	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1E-32	1	0%
1	1E-24	4	0%
2	1E-16	6	0%
3	1E-08	4	0%
4	1	1	100%

Tableau 64 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 4) infectées en même temps durant la première vague d'épidémie avec la loi log normale

Nombre de personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1,5777E-21	1	0%
1	8,3786E-21	26	0%
2	4,4496E-20	325	0%
3	2,363E-19	2600	0%
4	1,2549E-18	14950	0%
5	6,6646E-18	65780	0%
6	3,5393E-17	230230	0%
7	1,8796E-16	657800	0%
8	9,9821E-16	1562275	0%
9	5,3012E-15	3124550	0%
10	2,8153E-14	5311735	0%
11	1,4951E-13	7726160	0%
12	7,94E-13	9657700	0%
13	4,2167E-12	10400600	0%
14	2,2394E-11	9657700	0%
15	1,1892E-10	7726160	0%
16	6,3157E-10	5311735	0%
17	3,3541E-09	3124550	1%
18	1,7812E-08	1562275	3%
19	9,4596E-08	657800	6%
20	5,0237E-07	230230	12%
21	2,6679E-06	65780	18%
22	1,4168E-05	14950	21%
23	7,5244E-05	2600	20%
24	0,0003996	325	13%
25	0,00212214	26	6%
26	0,01126998	1	1%

Tableau 65 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de personnes infectées avec la loi log normale	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	1E-184	1	0%
1	1E-176	23	0%
2	1E-168	253	0%
3	1E-160	1771	0%
4	1E-152	8855	0%
5	1E-144	33649	0%
6	1E-136	100947	0%
7	1E-128	245157	0%
8	1E-120	490314	0%
9	1E-112	817190	0%
10	1E-104	1144066	0%
11	1E-96	1352078	0%
12	1E-88	1352078	0%
13	1E-80	1144066	0%
14	1E-72	817190	0%
15	1E-64	490314	0%
16	1E-56	245157	0%
17	1E-48	100947	0%
18	1E-40	33649	0%
19	1E-32	8855	0%
20	1E-24	1771	0%
21	1E-16	253	0%
22	1E-08	23	0%
23	1	1	100%

Tableau 66 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 23) infectées en même temps durant la seconde vague d'épidémie avec la loi log normale

Nombre de personnes infectées avec la loi uniforme	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	5,778E-127	1	0%
1	1,386E-124	53	0%
2	3,326E-122	1378	0%
3	7,978E-120	23426	0%
4	1,914E-117	292825	0%
5	4,592E-115	2869685	0%
6	1,102E-112	22957480	0%
7	2,643E-110	154143080	0%
8	6,341E-108	886322710	0%
9	1,521E-105	4431613550	0%
10	3,65E-103	19499099620	0%
11	8,756E-101	76223753060	0%
12	2,1006E-98	2,66783E+11	0%
13	5,0395E-96	8,41393E+11	0%
14	1,209E-93	2,40398E+12	0%
15	2,9006E-91	6,25035E+12	0%
16	6,9587E-89	1,48446E+13	0%
17	1,6695E-86	3,23088E+13	0%
18	4,0052E-84	6,46176E+13	0%
19	9,6088E-82	1,19032E+14	0%
20	2,3052E-79	2,02355E+14	0%
21	5,5305E-77	3,17986E+14	0%
22	1,3268E-74	4,62526E+14	0%
23	3,1831E-72	6,23404E+14	0%
24	7,6366E-70	7,79255E+14	0%
25	1,8321E-67	9,03936E+14	0%
26	4,3954E-65	9,7347E+14	0%
27	1,0545E-62	9,7347E+14	0%
28	2,5298E-60	9,03936E+14	0%
29	6,0693E-58	7,79255E+14	0%
30	1,4561E-55	6,23404E+14	0%
31	3,4932E-53	4,62526E+14	0%
32	8,3806E-51	3,17986E+14	0%
33	2,0106E-48	2,02355E+14	0%
34	4,8236E-46	1,19032E+14	0%
35	1,1572E-43	6,46176E+13	0%
36	2,7763E-41	3,23088E+13	0%
37	6,6605E-39	1,48446E+13	0%
38	1,5979E-36	6,25035E+12	0%
39	3,8336E-34	2,40398E+12	0%
40	9,1971E-32	8,41393E+11	0%
41	2,2065E-29	2,66783E+11	0%
42	5,2935E-27	76223753060	0%
43	1,27E-24	19499099620	0%
44	3,0467E-22	4431613550	0%
45	7,3094E-20	886322710	0%
46	1,7536E-17	154143080	0%

47	4,207E-15	22957480	0%
48	1,0093E-12	2869685	0%
49	2,4214E-10	292825	0%
50	5,8092E-08	23426	0%
51	1,3937E-05	1378	2%
52	0,00334356	53	18%
53	0,80215143	1	80%

Tableau 67 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 26) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi uniforme

Nombre de personnes infectées avec la loi log normale	Probabilité d'un événement	Nombre de combinaisons de l'événement	Probabilité d'avoir n personnes infectées
0	2,451E-108	1	0%
1	1,61E-106	59	0%
2	1,057E-104	1711	0%
3	6,941E-103	32509	0%
4	4,558E-101	455126	0%
5	2,993E-99	5006386	0%
6	1,9654E-97	45057474	0%
7	1,2906E-95	341149446	0%
8	8,4751E-94	2217471399	0%
9	5,5653E-92	12565671261	0%
10	3,6546E-90	62828356305	0%
11	2,3998E-88	2,79872E+11	0%
12	1,5759E-86	1,11949E+12	0%
13	1,0348E-84	4,04738E+12	0%
14	6,7954E-83	1,32985E+13	0%
15	4,4623E-81	3,98956E+13	0%
16	2,9302E-79	1,09713E+14	0%
17	1,9242E-77	2,77509E+14	0%
18	1,2636E-75	6,47521E+14	0%
19	8,2973E-74	1,39728E+15	0%
20	5,4486E-72	2,79456E+15	0%
21	3,5779E-70	5,1899E+15	0%
22	2,3495E-68	8,96438E+15	0%
23	1,5428E-66	1,4421E+16	0%
24	1,0131E-64	2,16314E+16	0%
25	6,6529E-63	3,0284E+16	0%
26	4,3687E-61	3,96022E+16	0%

27	2,8688E-59	4,84026E+16	0%
28	1,8838E-57	5,53173E+16	0%
29	1,2371E-55	5,91323E+16	0%
30	8,1233E-54	5,91323E+16	0%
31	5,3343E-52	5,53173E+16	0%
32	3,5029E-50	4,84026E+16	0%
33	2,3002E-48	3,96022E+16	0%
34	1,5105E-46	3,0284E+16	0%
35	9,9188E-45	2,16314E+16	0%
36	6,5133E-43	1,4421E+16	0%
37	4,2771E-41	8,96438E+15	0%
38	2,8086E-39	5,1899E+15	0%
39	1,8443E-37	2,79456E+15	0%
40	1,2111E-35	1,39728E+15	0%
41	7,9529E-34	6,47521E+14	0%
42	5,2224E-32	2,77509E+14	0%
43	3,4294E-30	1,09713E+14	0%
44	2,252E-28	3,98956E+13	0%
45	1,4788E-26	1,32985E+13	0%
46	9,7108E-25	4,04738E+12	0%
47	6,3767E-23	1,11949E+12	0%
48	4,1874E-21	2,79872E+11	0%
49	2,7497E-19	62828356305	0%
50	1,8056E-17	12565671261	0%
51	1,1857E-15	2217471399	0%
52	7,7862E-14	341149446	0%
53	5,1129E-12	45057474	0%
54	3,3575E-10	5006386	0%
55	2,2047E-08	455126	1%
56	1,4478E-06	32509	5%
57	9,5071E-05	1711	16%
58	0,00624299	59	37%
59	0,40995633	1	41%

Tableau 68 : Probabilités d'avoir n personnes (pour n variant de 0 à 59) infectées en même temps durant la troisième vague d'épidémie avec la loi log normale