

La saisie des données a été réalisée avec le logiciel EpiData version 3 ; l'analyse par régression logistique conditionnelle avec le logiciel STATA version 8. Une analyse univariée avec un seuil conservateur de 0,25 a d'abord été utilisée pour retenir les variables à inclure dans le modèle multivarié initial. A partir du modèle initial, une approche à étapes descendantes a été adoptée et les interactions entre les variables ont été testées afin d'obtenir le modèle final. Le seuil de significativité statistique retenu était de 0,05.

RÉSULTATS

Descriptif

Parmi les 64 cas éligibles au début de l'étude, 60 ont pu être interrogés. Un cas de légionellose a été exclu de l'épidémie et de l'enquête cas-témoins (sérologie positive pour LP6). Au final, l'analyse cas-témoins porte sur 59 cas et 177 témoins.

L'âge médian des cas (75,5 ans [min-max : 44-92]) et des témoins (75 ans [min-max : 40-94]) est identique. Le ratio H/F est de 2/1 pour les cas et pour les témoins. Les cas des deux vagues épidémiques sont répartis essentiellement dans les mêmes communes.

Analyse univariée

Parmi les facteurs de risque liés à l'hôte, seule la silicose est associée à la survenue de la maladie (Odds Ratio = 2,8 ; Intervalle de Confiance 1,1-7,1). Parmi les facteurs liés à l'habitat ou au mode de vie, la résidence dans une maison individuelle, l'usage d'humidificateur domestique, l'ouverture des fenêtres ou l'habitude de marcher dehors, par exemple, ne sont pas associés à la survenue de la maladie. Les personnes étant sorties dans la commune au cours de la période sur laquelle porte l'interrogatoire auraient un risque moins élevé de développer une légionellose (OR = 0,49 ; IC 0,24-0,98). Les sujets qui ont passé en moyenne au moins 100 minutes par jour à l'air libre extérieur pendant la période de 10 jours précédant le début des signes ont un risque plus élevé de développer une légionellose (OR = 2,9 ; IC 1,1-7,9).

Analyse multivariée

Le modèle initial a inclus les variables associées à la maladie dans l'analyse univariée, les variables considérées potentiellement importantes sur le plan épidémiologique ou considérées comme des facteurs de confusion potentiels. Ces variables sont : les facteurs favorisants, la silicose, le tabagisme, la consommation d'alcool, la résidence dans une maison individuelle, être sorti dans la commune, avoir une voiture et avoir passé plus de 100 min/jour à l'extérieur. Dans le modèle final, 3 facteurs de risque restent indépendamment associés à la survenue de la maladie : la silicose, le tabagisme et le fait d'avoir passé plus de 100 min/jour à l'extérieur (tableau 1).

Tableau 1

Mesures d'association entre les facteurs de risques et l'acquisition de la légionellose, après analyse multivariée

Facteur	OR univarié	OR ajusté	IC 95 %	% de cas exposés
Facteurs favorisants*	1,3	1,4	0,6 – 3,0	74
Silicose	2,8	3,6	1,3 – 9,9	22
Tabagisme	2,1	2,7	1,1 – 6,8	22
>100 min/jour à l'air extérieur	2,9	3,1	1,1 – 9,0	17

* Variable composite regroupant les facteurs suivants : diabète, maladies pulmonaires chroniques, maladie cardio-vasculaire, maladie rénale, dialyse, transplantation, cancer, chimiothérapie, prise de corticostéroïdes et oxygénothérapie.

CONCLUSION

Le risque lié à la silicose est le plus remarquable en l'absence d'association trouvée entre les facteurs de risque habituels et la survenue de la légionellose dans cette enquête. La silicose est une maladie professionnelle donnant lieu à une invalidité permanente partielle (IPP) ; le recueil de cette information auprès des cas et des témoins n'est a priori pas entaché de biais. Cette affection respiratoire chronique est une caractéristique de terrain spécifique de la population exposée au risque (11 % de témoins dans cette enquête avaient la silicose), ce qui a probablement contribué à augmenter l'incidence de la maladie pour un niveau d'exposition donné.

Les résultats semblent indiquer qu'aucune habitude de vie ou activité spécifique n'est associée à la survenue de la maladie. Cependant les séjours prolongés à l'air extérieur (>100 min/jour) augmentent le risque. Ce résultat est cohérent avec l'hypothèse de contamination environnementale à partir d'un panache émis par des tours aéro-réfrigérantes de l'usine N, sur la base des modélisations effectuées par l'Ineris [3].

A l'exception du tabagisme, aucun autre facteur favorisant connu n'a pu être identifié. Ceci peut s'expliquer par l'imprécision de certaines variables relatives à l'histoire médicale des individus et les faibles effectifs pour certaines d'entre elles.

RÉFÉRENCES

- [1] Miquel P-H, Haeghebaert S, Che D et al. Épidémie communautaire de légionellose, Pas-de-Calais, France, novembre 2003-janvier 2004. *Bull Epidemiol Hebd* 2004, 36-37:179-81.
- [2] Institut de veille sanitaire. Le nouveau dispositif de surveillance des maladies à déclaration obligatoire, janvier 2003
- [3] Rouil L. Evaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés dans la région de Lens. Ineris, février 2004.

Évaluation de la dispersion atmosphérique d'aérosols potentiellement contaminés lors de l'épidémie de légionellose de la région de Lens

Laurence Rouil, Giovanni Gardenas, Frédéric Marcel

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Verneuil-en-Halatte

INTRODUCTION

L'épidémie de légionellose survenue de novembre 2003 à janvier 2004 dans la région de Lens a suscité, par son ampleur, son étendue géographique et sa durée, bon nombre de questions. Des experts venant de différents horizons se sont efforcés d'y répondre. L'une d'elle concernait plus spécifiquement la localisation des cas avérés, situés à des distances plus importantes de la source de contamination supposée, que ce qu'il est d'usage de constater. La modélisation du transport aérien des polluants présente un intérêt évident pour la compréhension de ces phénomènes. Les investigations menées par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) présentées dans cet article abordent la dispersion atmosphérique de gouttelettes d'eau, potentiellement contaminées, issues d'une installation industrielle et mises en suspension dans le milieu aérien par les équipements de refroidissement et de traitement des eaux. On y retrouve les circuits de refroidissement dit « évaporatifs » comportant une tour de refroidissement ou tour aéro-réfrigérante (Tar) et les systèmes de lagunage dotés de dispositifs d'aération créant une émulsion en surface génératrice d'aérosols. Ces gouttelettes d'eau sont retenues comme traceur du comportement dispersif des bactéries ainsi relarguées.

Les émissions d'aérosols ne sont pas homogènes dans le temps et dans l'espace. Le traceur permet de représenter les zones de contamination possible (probabilité de présence de germe) mais pas les zones de contamination avérée.

MÉTHODES ET HYPOTHÈSES DE CALCUL

Afin de répondre à une situation de crise, où il était indispensable d'explorer un grand nombre de scénarios de dispersion dans des délais courts, un modèle très simple, de type gaussien a été retenu pour réaliser les simulations numériques. Ces outils sont bien adaptés au calcul de chroniques permettant de suivre l'évolution des panaches dispersés en fonction des conditions météorologiques.

L'une des principales limites liées à l'usage de ce modèle est que les gouttelettes d'eau, simulées comme des particules de diamètre inférieur à 5 mm, ne subissent pas de changement de phase : pas d'évaporation ni de coagulation. De plus, en l'absence de publication sur le sujet, aucune considération concernant les conditions de vie des germes dans et en dehors du milieu aqueux n'est prise en compte.

La topographie de la zone étudiée permet d'adopter une hypothèse de terrain plat. Les données météorologiques utilisées sont des informations relevées heure par heure pour la direction et la vitesse de vent, la température, et l'humidité relative aux stations météorologiques les plus proches. Des données de nébulosité, représentatives des conditions de stabilité de l'atmosphère ont également été traitées.

Les hypothèses d'émissions couvrent différents scénarios, tels que le fonctionnement normal des installations, ou les périodes de nettoyage du circuit de refroidissement selon des procédures décrites par l'exploitant. Des scénarios relatifs à des sources

d'émissions jugées secondaires mais ayant pu contribuer à la transmission des légionelles lors de cette épidémie, telles que la lagune de traitement des eaux de l'usine, ont également été examinés. Il est ainsi possible de décrire les trois typologies de source :

- source ponctuelle de type Tar : les caractéristiques d'émission sont celles des installations du site Noroxo, ces tours faisant l'objet d'investigations poussées de la Drire. Le taux d'émission d'aérosols adopté est celui reconnu comme le plus plausible en l'absence de mesure dans le guide de bonne pratique [3], soit 0,01 % du débit de circulation dans le système réfrigérant ;

- source surfacique liée au travaux de nettoyage au jet haute pression dont certaines peuvent avoir lieu en hauteur (15 m) ; on suppose que 1 % du débit du jet est susceptible d'être dispersé de manière évanescence, sous forme d'aérosols éventuellement porteurs de bactéries, suite au décapage ou décollage des parties de biofilms ;

- source surfacique représentant la lagune équipée d'aérateurs de surface susceptibles de générer des aérosols contaminés dans l'atmosphère.

Les concentrations en eau estimées par les modèles ont été confrontées pour les différentes communes exposées aux taux d'attaque de légionellose.

RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Première vague épidémique

Les concentrations estimées pour cette période (du 31 octobre au 28 novembre 2003) correspondent à une émission ponctuelle par les Tar. Elles recouvrent bien la distribution géographique des cas observés (figure 1), et sont cohérentes avec les taux d'attaque (tableau 1). Ainsi Annay, commune à proximité du site, sous les vents dominants et où les concentrations calculées sont les plus élevées, connaît un taux d'attaque plus important que les autres communes. Les communes de Lens ou Henin-Beaumont qui n'étaient pas sous l'influence des panaches d'aérosols ont un faible taux de concentration et d'attaque. En revanche le taux d'attaque important de Noyelles est associé à une concentration relativement faible.

L'analyse effectuée pour la première vague confirme globalement la présence possible de germes issus des Tar de l'installation Noroxo, dans les zones où des cas ont été notifiés. Les zones touchées peuvent s'étendre dans un rayon de 10 km autour de l'usine, même si l'exposition aux aérosols diminue sensiblement au-delà de 2 km.

Tableau 1

Distance, taux d'attaque (pour 10 000 habitants) et concentration moyenne sur la période en µg d'eau sous forme de gouttelettes par m³ d'air estimés par commune, première vague de l'épidémie de légionellose, Pas-de-Calais, novembre 2003

Commune	Distance à Noroxo et direction	Taux d'attaque 1 ^{re} vague	Concentration en eau pour une température de rejet de 20°C	Concentration en eau pour une température de rejet de 15°C
Annay	1 600 m N	8,5	15,5 µg/m ³	19 µg/m ³
Wingles	5 600 m NW	3,5	3,3 µg/m ³	3,8 µg/m ³
Lens	4 600 m SW	0,3	0,78 µg/m ³	0,96 µg/m ³
Harnes Ouest	1 000 m S	7,6	4,3 µg/m ³	6,3 µg/m ³
Harnes Est	2 000 m SE	1,5	0,38 µg/m ³	0,6 µg/m ³
Noyelles	3 000 m S	8,2	1,4 µg/m ³	1,7 µg/m ³
Henin-Beaumont	6 000 m SE	0,4	0,14 µg/m ³	0,26 µg/m ³

Tentative d'interprétation des résultats en terme de nombre de germes

Sachant que le degré de contamination des tours était de l'ordre de 600 000 à 700 000 germes/litres d'eau entraînée dans la période incriminée, et en supposant leur répartition uniforme, il est possible de déduire à partir des concentrations dans l'air en gouttelettes, une concentration en nombre de germes par m³ d'air. Ceci suppose en outre que les germes sont transportés sans transformation et qu'ils ont une durée de vie suffisante. Ce calcul simple permet de déduire qu'une concentration en eau contaminée de 1 µg/m³ équivaut à environ 7*10⁻⁴ germes/m³ d'air. Une personne ayant une capacité respiratoire moyenne de 1,2 m³/heure devrait alors rester exposée 50 jours pour inhaler l'équivalent d'un germe (ou probabilité qu'une personne sur 50 inhale un germe en une journée pour une exposition unitaire de 1µg/m³).

Ainsi dans les zones les plus exposées (Annay jusqu'à 22 µg/m³) la durée d'exposition des individus devrait se situer autour de 40 heures, alors que pour la plupart des communes concernées (exposées à des concentrations de l'ordre de 5 à 10 µg/m³), la durée d'exposition nécessaire est de l'ordre de 5 à 10 jours.

Simulations pour la deuxième vague de l'épidémie

Durant la première partie de cette période, l'exploitation de Noroxo est à l'arrêt. Le personnel est mobilisé pour le nettoyage de l'ensemble du circuit de refroidissement jusque mi-décembre. L'exploitation redémarre le 20 décembre, jusqu'à un nouvel arrêt début janvier 2004. Ces deux phases ont fait l'objet de simulations afin d'évaluer leur contribution possible à l'épidémie de légionellose.

Phase de nettoyage à l'aide de jets à haute pression

Grâce à une représentation simple des émissions liées à l'activité de nettoyage menées du 11 au 15 décembre, les possibles distances d'impact de ces travaux ont été appréhendées (tableau 2).

Il est intéressant de noter que des concentrations dans l'environnement sont du même ordre de grandeur que celles calculées pour la première vague. Cela s'explique par les hauteurs de rejets, qui favorisent la dispersion en champ lointain, et par les débits considérés, finalement relativement importants.

Tableau 2

Distance, taux d'attaque (pour 10 000 habitants) et concentration moyenne sur la période en µg d'eau sous forme de gouttelettes par m³ d'air estimés par commune, seconde vague de l'épidémie de légionellose, Pas-de-Calais, décembre 2003-janvier 2004

Site	Distance à Noroxo et direction	Taux d'attaque ¹ dans la 2 ^e vague (pour 10 ⁴)	Concentration en eau pour une hauteur de rejet de 15 m (µg/m ³)
Annay	1 600 m N	7,33	14.7
Wingles	5 600 m NW	2,32	2.6
Lens	4 600 m SW	0,52	0
Harnes Ouest	1 000 m S	pas de valeur	7.9
Harnes Est	2 000 m SE	4,63	0
Noyelles	3 000 m S	5,54	0
Henin	6 000 m SE	4,41	1.35

¹ soit le nombre de cas ramené au nombre d'habitants dans les communes étudiées

Phase de nettoyage des camions approvisionnant les boues de ré-ensemencement de la lagune

Le site Noroxo de Harnes dispose d'une lagune contribuant au traitement des effluents aqueux des procédés. Le maintien de l'activité bactérienne, nécessite un ré-ensemencement régulier de la lagune afin de maintenir sa capacité à traiter les effluents. Pour cela, Noroxo importe par camion des boues issues d'une station de traitement des eaux d'une autre société spécialisée dans la chimie fine. Des analyses ont révélé des concentrations très élevées de *legionella* dans ces boues.

Les camions sont lavés à la lance après livraison sur le site de Noroxo. Ces jets sont susceptibles de générer des aérosols potentiellement contaminés, puisque impactant des surfaces porteuses de très grandes quantités de bactéries.

La période de nettoyage proprement dite, est relativement courte (de l'ordre d'un quart d'heure). Ne disposant d'aucun élément précis sur les heures et durées de lavage, plutôt que de modéliser des situations moyennes, il est plus pertinent de simuler des conditions météorologiques types, compatibles avec celles observées durant les journées en question et d'évaluer jusqu'à quelle distance et combien de temps après la fin du rejet, la présence d'aérosols peut être observée.

Le logiciel PHAST, [2] généralement utilisé pour simuler des rejets intermittents de type accidentel indique pour chaque situation, la distance à laquelle les gouttelettes d'eau liquide disparaissent ainsi que le temps au bout duquel le nuage atteint cette distance (Tableau 3). Ainsi une situation de forte stabilité conduit à des distances d'impact importantes qui peuvent contribuer à expliquer certains cas recensés dans les zones habitées proches du site (Harnes par exemple).

Période de redémarrage de l'exploitation

L'hypothèse d'une nouvelle émission d'aérosols contaminés au moment du redémarrage de l'exploitation étant plausible, le calcul de la dispersion de gouttelettes émises par les Tar dans l'environnement lors de la date de remise en fonctionnement de la ventilation forcée des Tar jusqu'à l'arrêt total de l'exploitation (4 janvier) est effectué. Les caractéristiques des émissions sont identiques à celles définies pour le premier épisode de l'épidémie et les résultats cartographiques sont globalement similaires à ceux de la figure 1.

Modélisation des possibles rejets diffus de la lagune

La lagune du site est un bassin de 2 600 m² surélevé de 3-4 mètres ayant 10 000 m³ de contenance. Elle est équipée d'aérateurs, générateurs d'aérosols par conception. Ces derniers peuvent

Tableau 3

Distance et temps de disparition des aérosols estimés pour différente situation de nettoyage par jet des camions de transport des boues, épidémie de légionellose, Pas-de-Calais, décembre 2003–janvier 2004

Caractéristique des situations vitesse du vent / stabilité atmosphérique	Distance à laquelle les aérosols disparaissent	Temps au bout duquel cette distance est atteinte
18 déc. 2,5 m/s atmosphère stable	850 m	620 s
31 déc. 1,5 m/s atmosphère très stable	1 300 m	1 400 s
7 janv. 4 m/s atmosphère neutre	190 m	60 s
8 janv. 8 m/s atmosphère instable	70 m	10 s

contenir des *legionella* suite aux opérations d'ensemencement. En l'absence de toute donnée d'entrée validée, une modélisation exploratoire simple de la dispersion des rejets d'une telle source a été réalisée pour la période du 6 novembre 2003 au 4 janvier 2004. Le modèle montre que les gouttelettes émises par le processus d'aération de la lagune peuvent se disperser sur une distance de l'ordre du kilomètre, ce qui met les Tar à portée de cette source ainsi que les toutes premières zones d'habitation voisines.

CONCLUSION

L'investigation par la modélisation de la propagation par voie aérienne des légionelles a été effectuée en simulant la dispersion de gouttelettes d'eau comme traceur. Aussi, les concentrations en eau ne présagent pas de concentrations données en légionelles ni de leurs facultés de contamination, mais de la présence possible de ces bactéries. De plus, la concentration en légionelles des aérosols aéroportés dépend de la concentration en légionelles, sous toutes

formes possibles, du milieu émetteur, et donc à concentration en eau égale, les différents scénarios peuvent induire des concentrations en légionelles différentes. Les concentrations et les distances estimées par nos modèles s'appuient sur de nombreuses hypothèses, et une grande prudence est requise pour leur interprétation. Les conclusions valent d'un point de vue essentiellement qualitatif.

Les simulations réalisées indiquent que le transport aérien des bactéries sur des distances supérieures à la dizaine de kilomètres est plausible pour des sources puissantes comme les Tar industrielles et des conditions météorologiques rencontrées lors de cette épidémie. Ce type de source constitue donc l'hypothèse principale de la première vague de l'épidémie et demeure plausible pour la deuxième vague. Il est également suggéré que les phases de nettoyage des infrastructures et des véhicules de transport de boues contaminées peuvent constituer des sources non négligeables. De même une lagune avec ses dispositifs d'aération de surface doit être prise en considération dans les scénarios de contamination à courte distance dans l'environnement, ce qui comprend tant les lieux fréquentés par la population que par effet « bio-domino » les sources d'émission comme les tours aéro-réfrigérantes.

RÉFÉRENCES

- [1] Miquel PH, Haeghebaert S, Che D et al. Épidémie communautaire de légionellose, Pas-de-Calais, France novembre 2003-janvier 2004. Bull Epidemiol Hebd 2004; 36-37:179-81.
- [2] Rapport Ineris <www.ineris.fr>
- [3] Guide de bonnes pratiques sur les Tar (Ministères en charge de l'environnement, de la santé et de l'industrie)

Figure 1

Dispersion des concentrations en eau modélisées pour la première vague de l'épidémie et répartition des cas, région de Lens, novembre-décembre 2003

