

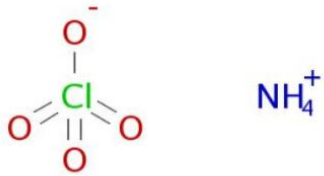


— Perchlorates

HOHRODBERG – MUNSTER HASLACH

Substance chimique

Perchlorate d'ammonium



Pictogrammes



Origine des produits

Secteurs touchés en France

Impact sur la Santé

origine

- **Le perchlorate d'ammonium figure dans de nombreuses applications industrielles, en particulier dans les domaines militaires et de l'aérospatiale**
- comme oxydant pour les propulseurs de fusées ;
- dispositifs pyrotechniques, fusées éclairantes et explosifs pour des applications civiles ou militaires ;
- système de déclenchement des « airbags » ;
- chandelles à oxygène utilisées en milieux clos (cabines d'avion, sous-marin...) pour des applications civiles ou militaires ;
- composant d'adhésifs temporaires pour les plaques métalliques mélangé avec la résine époxy qui, après durcissement, forme la liaison adhésive entre les plaques
- ...

Guerre de 1914-1918

- France, Allemagne, Suisse, Suède, Etats-Unis : synthèse des perchlorates dès 1890
- Explosifs chloratés mixtes (cheddites KClO_3) puis (perdites KClO_4) développés vers 1915 en raison de l'appauvrissement des stocks de nitrates
- Massivement utilisés durant la première guerre mondiale
 - Sécurité d'utilisation améliorée
 - Bas prix de production,
 - Émergence de charges militaires propulsées.

— Guyane – Bordeaux – Nord Pas de Calais

— C.I. EAU 15 janvier 2013

À l'occasion de la découverte de taux élevés de ce composé chimique, en juillet 2011, dans des sources de captage d'[eau potable](#) de la Communauté urbaine de Bordeaux, le méconnu « **perchlorate d'ammonium** » a fait les gros titres.

La constatation de taux allant jusqu'à 30 microgrammes par litre dans des zones de captage d'[eau potable](#) a conduit les pouvoirs publics à décider de l'arrêt de certains pompages. Dans le cadre de leur programme d'analyses d'auto-surveillance sur la région Nord-Pas de Calais, les entreprises délégataires ont ensuite mis en évidence des traces d'ion perchlorate dans certains captages.

FONDAMENTAL
ENQUÊTE



→ mois plus tard, un premier verdict tombe : la pollution est avérée dans plusieurs régions (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Ile-de-France et Champagne-Ardenne) et plus d'un millier de communes ! Une liste qui pourrait s'allonger à l'issue des analyses en cours dans d'autres régions (Normandie, Lorraine, Alsace...).

A Bordeaux, le coupable est rapidement identifié : une usine de la Société nationale des poudres et explosifs est à l'origine d'une fuite. De fait, depuis les années 1950, les sels de perchlorates sont utilisés pour de nombreuses applications industrielles, notamment dans le domaine militaire et l'aérospatiale. L'affaire de Bordeaux ressort donc d'un problème stricte-

▲ En 1916, lors de la seule bataille de Verdun, pas moins de 60 millions d'obus furent tirés.



ment local. Mais qu'en est-il de tous les autres cas de pollution aux perchlorates soudainement recensés ? Et comment expliquer que tant de régions soient frappées du même mal ? La tension monte d'un cran lorsque des taux dépassant 60 µg/l sont mesurés fin 2011 dans des forages de la vallée de l'Escrebieux, au sud de Lille. Ces captages d'eau potable sont stratégiques, car ils alimentent environ 500 000 habitants. Les

investigations se tournent naturellement vers une origine comparable à celle de l'affaire bordelaise. Mais aucune activité industrielle proche n'explique un marquage des eaux souterraines aussi étendu. Seule une source de pollution diffuse, disséminée sur un vaste territoire, aurait pu provoquer une telle contamination. Mais laquelle ?

Ce sont les cartes qui vont livrer la solution. Car les secteurs où les perchlorates sont détectés recouvrent de façon étonnante la cartographie des zones de combats de la Première Guerre mondiale. Rapidement, l'hypothèse d'un lien avec les bombes de la Grande Guerre est formulée. Il faut dire que les chiffres donnent le vertige. En quatre ans, un milliard de bombes, soit 15 millions de tonnes de métal, ont ravagé les 700 km de front (voir Faits & Chiffres). Un déluge de feu, de fer et de plomb. Sur plus de 3 millions d'hectares, en Picardie, Lorraine

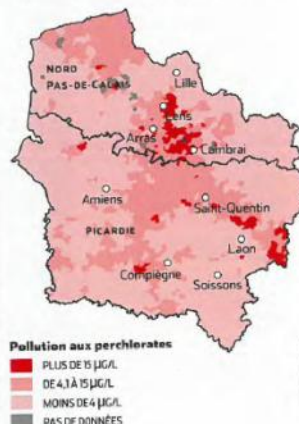
▲ Sur 120 000 ha, les bombardements ont dessiné un *no man's land* aux sols encore minés.

FAITS & CHIFFRES

Lors de la bataille de Verdun, 60 millions d'obus furent tirés, dont 2 millions par les Allemands la seule journée du 21 février 1916, début de l'offensive qui dura dix mois (1 400 impacts par minute, 6 par mètre carré). Une apocalypse qui fit perdre 7 m d'altitude à la Côte 304, l'emblématique colline située sur le champ de bataille.

La pollution aux perchlorates suit globalement les zones de combats de la Grande Guerre

Les zones où d'importants taux de perchlorates ont été détectés recouvrent de façon étonnante les territoires dévastés par les bombardements.



et Champagne-Ardenne principalement, 4 000 communes ont été dévastées, certaines littéralement rayées de la carte – c'est la "zone rouge", un *no man's land* de 120 000 ha qui recèle quantité d'obus encore intacts.

Des obus encore intacts : voilà précisément le problème ! Sachant que le taux de raté des munitions d'artillerie est évalué entre 25 et 50 %. Dans les terres boueuses des champs de bataille labourés par l'artillerie ou dans les zones humides (étangs, marais, tourbières), les bombes se sont enfoncées plus ou moins profondément dans le sol sans exploser. Ainsi, de 500 à 800 tonnes de munitions intactes sont exhumées tous les ans. A ce rythme-là, et compte tenu du stock estimé, le déminage devrait être terminé... dans 700 ans environ ! Or, pendant ce temps-là, les bombes ne se contentent pas de rouiller

paisiblement ; au contraire, elles distillent leur poison souterrain : les fameux perchlorates.

Pour comprendre, il faut revenir à l'histoire de l'armement du début du XX^e siècle. "Avant la Grande Guerre, les poudres utilisées dans les obus et les bombes étaient à base de nitrate de potassium, ou salpêtre, résume Daniel Hubé, chef de projet Sites et sols pollués au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). En 1915, la Royal Navy s'engage dans un blocus naval de l'Allemagne, et les nitrates, fournis par les colonies, viennent à manquer. Ils sont remplacés par les cheddites, des explosifs à base de chlorate de potassium, obtenu par synthèse électrochimique. Ces cheddites seront ensuite rapidement remplacés, de chaque côté du front, par les pertidites, plus stables, à base de perchlorate de potassium."

Tout s'explique. Les projectiles qui ont martelé la ligne de front durant des années, en particulier les tristement célèbres obus de 75, étaient bourrés de perchlorates. Ces explosifs dits "brisants" étaient destinés à fragmenter l'obus, afin de générer un maximum d'éclats et de disperser shrapnels et gaz chimiques. En somme, à tuer de la façon la plus efficace.

DES SOLS EMPOISONNÉS

La chimie et le temps ont fait le reste. Les bombes enfouies dans le sol se sont corrodées et ont libéré petit à petit leur contenu délétère sous des formes chimiques très concentrées. La pluie, en s'infiltrant dans le sol, est venue dissoudre les agents nocifs, entraînant vers les nappes phréatiques cette pollution séculaire, lentement mais sûrement. La très bonne solubilité des perchlorates →

DE "SALES" GUERRES MODERNES...

Longtemps après que les armes se sont tuées, nombre de conflits récents ont laissé dans l'environnement des traces néfastes pour la santé. A commencer par la guerre du Vietnam : dans les années 1960, 70 millions de litres d'agent orange, un herbicide contenant de la dioxine, ont été déversés par les Américains pour empêcher l'ennemi de se cacher dans la forêt et détruire ses récoltes. Toujours présent en grande quantité dans les sols, il est soupçonné

de provoquer cancers et malformations congénitales. Plus récemment, au Kosovo, l'Otan a bombardé les raffineries et industries chimiques, polluant durablement les aquifères et les cours d'eau. Quant aux munitions à l'uranium appauvri, utilisées en Irak et dans les Balkans, elles ont été dispersées dans l'air des particules radioactives. Or, on constate aujourd'hui une hausse des cas de cancers et de maladies congénitales chez les militaires et les civils...

POLLUTION PAR LES MUNITIONS NON EXPLOSEES

SCIENCES ET VIE JUILLET 2013

Obus explosif

1 La zone de combats est bombardée
Le taux de raté des obus lancés durant la Grande Guerre est évalué entre 25 et 50 %. Sur des sédiments meubles (terres boueuses, zones humides), ce taux monte à 80 % d'obus intacts.

Enveloppe en acier
Charge explosive

2 Les obus non explosés s'enfoncent sous terre
Les projectiles non explosés ont plongé jusqu'à 15 m de profondeur dans ces sols même relativement durs, et bien plus profondément dans les terrains meubles.

Acier corrodé

3 La corrosion dégrade leur enveloppe d'acier
Les obus perdus sont restés enterrés et, avec le temps, leur enveloppe d'acier s'est corrodée. Suivant le degré d'oxydation du milieu, cette corrosion s'est étalée sur dix à cent ans.

Enveloppe perforée par la corrosion
Molécule de perchlorate
Détonateur

4 Le contenu explosif est lessivé par l'eau de pluie
La dégradation de l'enveloppe d'acier expose le contenu explosif de l'obus, principalement composé de perchlorate de potassium. Ce composé chimique, extrêmement soluble, va être facilement dissous et transporté par l'infiltration de l'eau de pluie.

Nappe phréatique

5 L'eau des nappes phréatiques est polluée
Peu à peu, les perchlorates sont transportés jusque dans les nappes phréatiques. Dans le cas de la nappe de la craie (Nord-Pas-de-Calais), cette migration se fait lentement, de l'ordre du mètre par an. L'eau polluée est ensuite pompée, puis consommée.

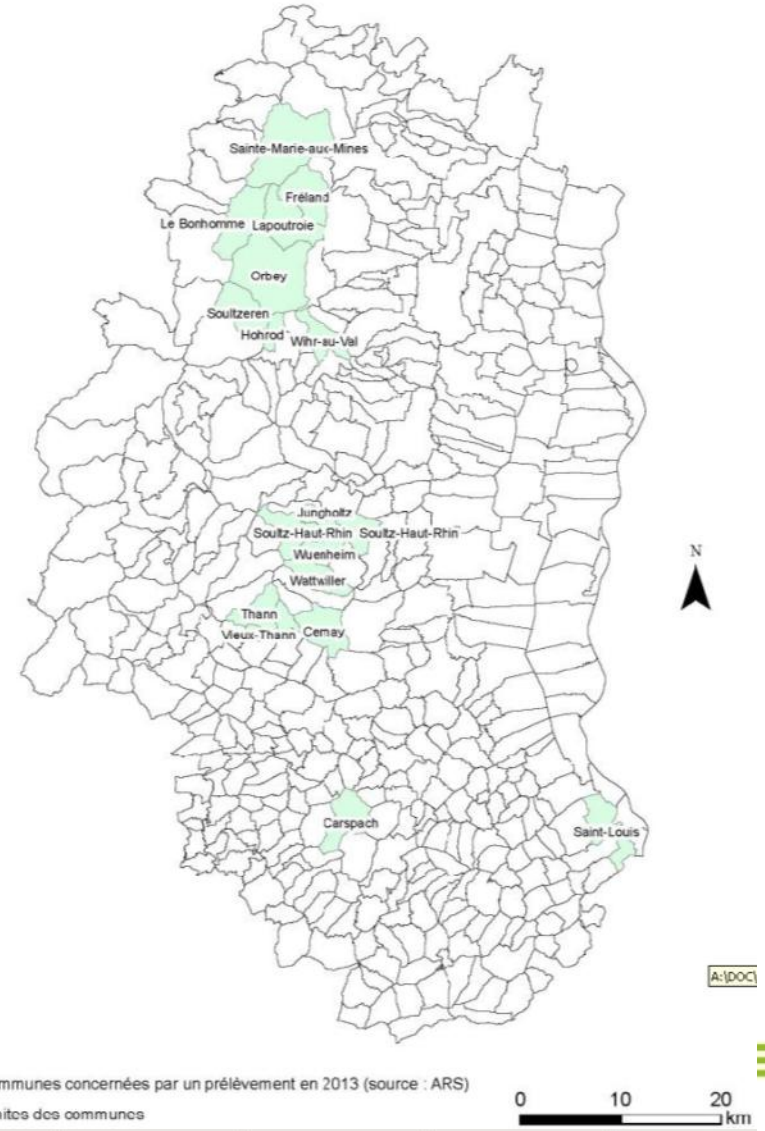
Recherches (BRGM 2013)

D'autres régions (Est de la France), d'autres ressources pourraient être concernées par ce marquage pyrotechnique, selon l'historique et les contextes hydrogéologiques :

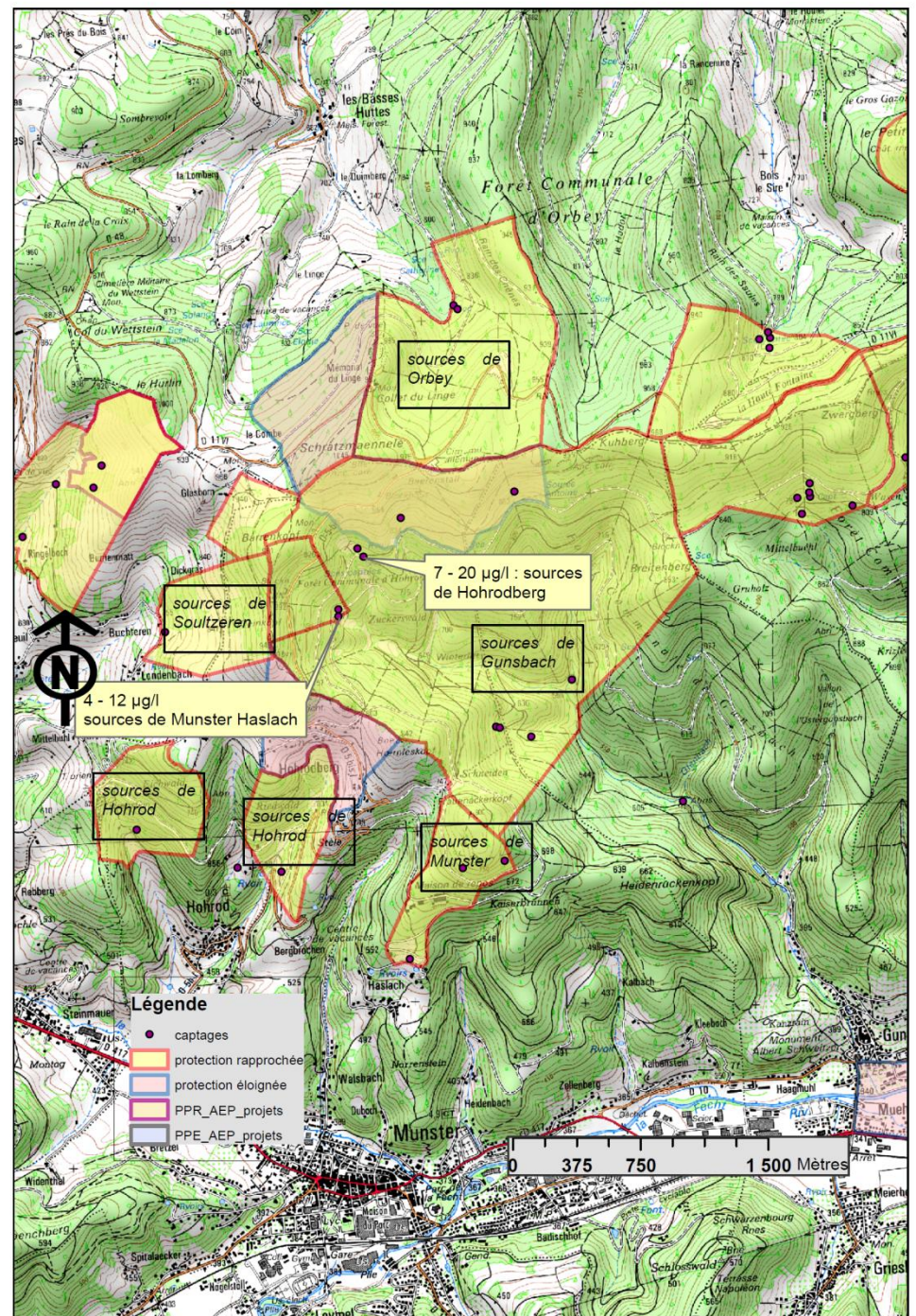
- la région Nord – Pas-de-Calais et la Picardie : bataille de Cambrai, bataille de la Somme (1919), Chemin des Dames (Aisne, 1917) ;
- la région Champagne-Ardenne : batailles de la Marne (1914, puis 1918), bataille de Champagne (1915), Chemin des Dames, (première guerre), bataille des Ardennes (seconde guerre mondiale) ;
- la région Basse-Normandie (seconde guerre mondiale) ;
- la région Alsace-Lorraine : bataille de Verdun et Argonne, bataille du Linge, bataille du Viel Armand, bataille de la Tête des Faux sur les communes de Lapoutroie, Orbey, du Bonhomme, et plus généralement la crête des Vosges, la Moselle (stagnation du front en 1944 pendant la seconde guerre mondiale).

Recherches ARS en Alsace

Projet d'analyse de perchlorates Communes du Haut-Rhin



Le LINGE – HOHRODBERG HASLACH



Traitement des eaux

- Filtration physique sur charbon actif en grains : faible affinité pour les ions perchlorate.
- Filtration biologique sur charbon actif en grains : possible mais temps de contact long
- Echanges d'ions : Présente certains inconvénients, tels que le manque de sélectivité ainsi que le résidu des concentrats
- Osmose inverse, nanofiltration et ultrafiltration permet également l'élimination de perchlorate dans l'eau potable : eau déminéralisée
- **Par conséquent, il semble ne pas exister actuellement de procédé de traitement physique ou chimique vraiment satisfaisant et efficace permettant l'élimination des ions perchlorate des eaux destinées à la consommation humaine (Anses, 2011 ; Srinivasan et Sorial, 2009).**

Impact de l'ingestion de perchlorates sur la santé

- Le perchlorate n'est pas considéré comme un produit susceptible de provoquer des cancers ou des mutations génétiques.
- L'ingestion de perchlorate peut, en théorie, être responsable de l'apparition d'une hypothyroïdie. L'ion perchlorate entre en compétition au niveau de la glande thyroïde avec l'iode.

Impact de l'ingestion de perchlorates sur la santé

- Chez l'enfant de moins de 6 mois et le fœtus, un déficit d'hormones thyroïdiennes peut altérer le développement neurocomportemental.
- Il convient de souligner que les perchlorates ne s'accumulent pas dans l'organisme humain et que leurs effets sont réversibles chez l'adulte et chez l'enfant.
- "Ces seuils retenus sont très protecteurs afin de limiter les éventuels impacts sur le développement du nourrissons : les effets à cet âge d'une hypothyroïdie ne sont pas tous réversibles. Les connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas de se prononcer pour les risques réels sur la santé au-delà de ces seuils"

Impact de l'ingestion de perchlorates sur la santé

- Les seuils préconisés par le Ministère de la Santé sont les suivants :
- Les nourrissons de moins de 6 mois, ne doivent pas consommer l'eau du réseau si la teneur en perchlorate est $>$ à $4 \mu\text{g/L}$,
- Les femmes enceintes ou allaitantes ne doivent pas consommer l'eau du réseau si la teneur en perchlorate est $>$ à $15 \mu\text{g/L}$.