



PROJET « PERCHLORATES »

SOURCES ET COMPORTEMENT DES IONS PERCHLORATE POUR UNE MEILLEURE GESTION DES EAUX DE L'AQUIFÈRE DE LA CRAIE, HAUTS-DE-FRANCE

L. Cary et al.





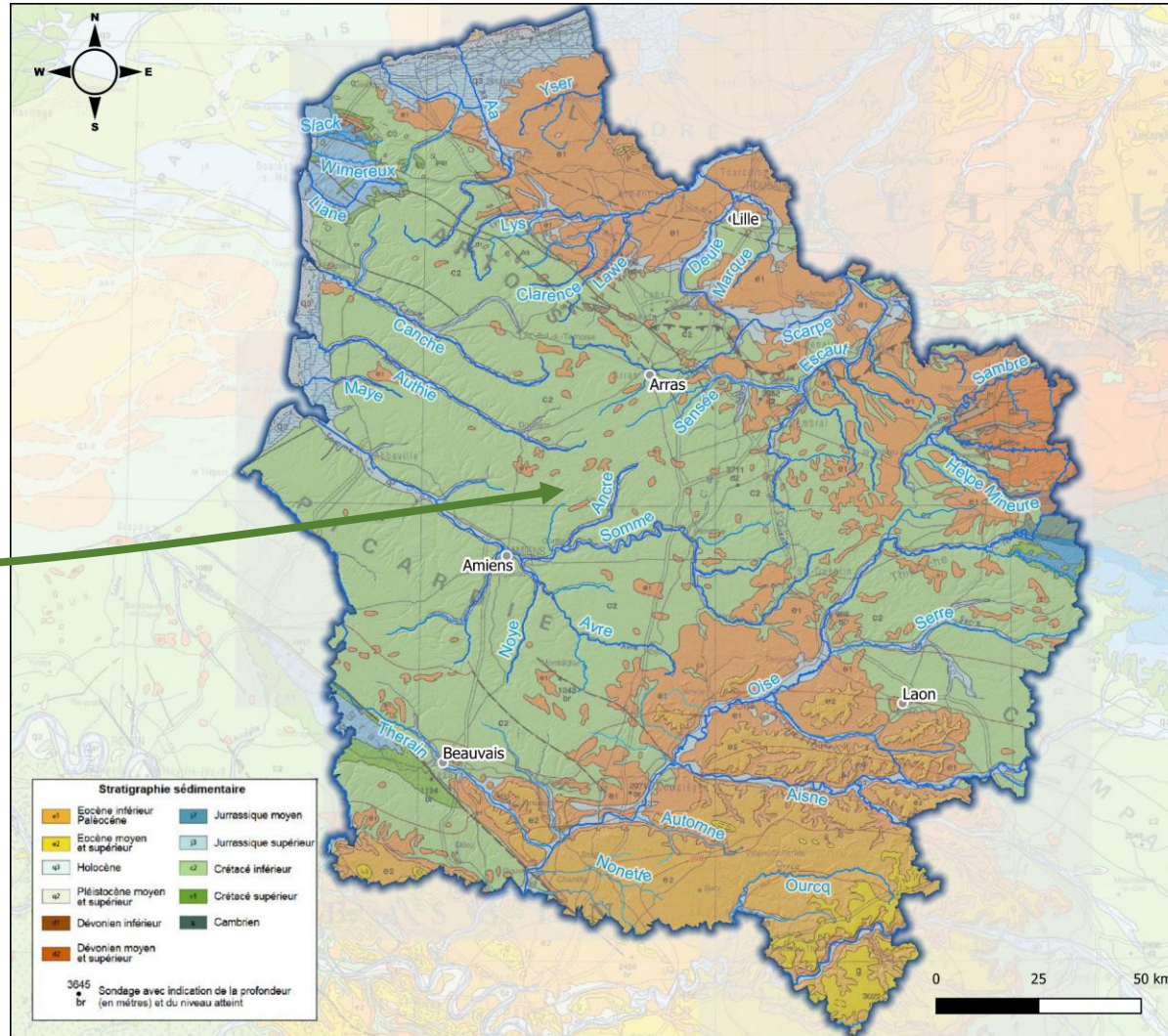
INTRODUCTION ELÉMENTS DE CONTEXTE



En hydrogéochimie, l'étude de la mobilité et du transfert des polluants d'origine « anthropique » dans les eaux souterraines nécessite de bien comprendre les usages et les sources, en parallèle d'une étude approfondie du comportement de l'hydrosystème. Il est peu courant, cependant, d'investiguer l'une des périodes les plus traumatiques de l'Histoire de France, la Première Guerre mondiale (1914-1918 sur le front occidental), nécessaire pour comprendre les transferts des ions perchlorate et des molécules pyrotechniques, vers les captages d'eau souterraine.

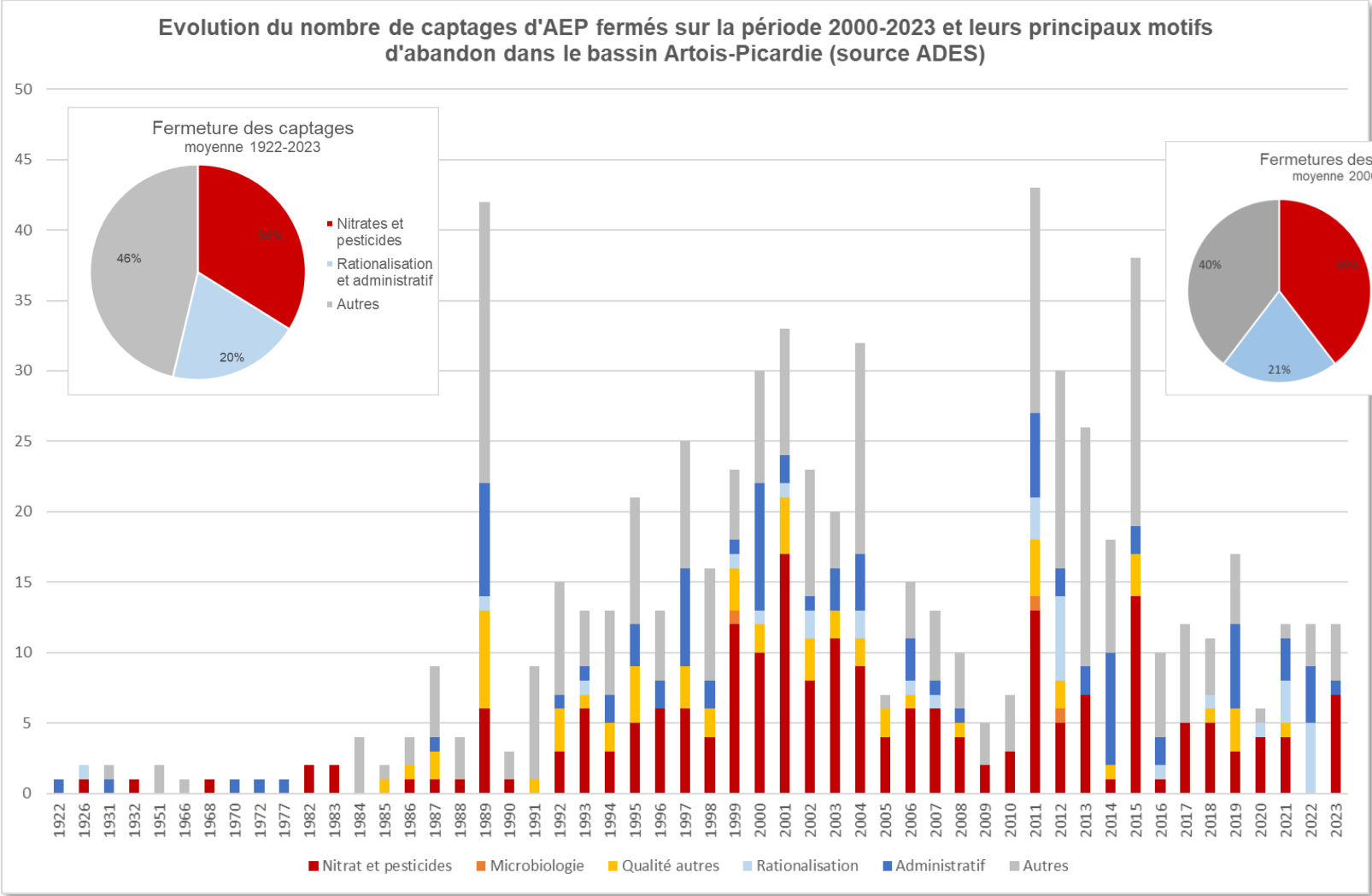
1.1 Contexte hydrogéologique

La région est installée sur un aquifère exceptionnel, la craie, et présente des sols favorables à l'agriculture



~ 93 % de l'eau potable de la région provient des nappes d'eau souterraines (1100 captages actifs AEP)

1.1 Contexte hydrogéologique



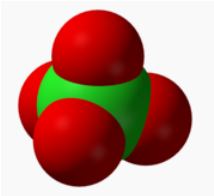
Entre 5 et 39 captages AEP ferment chaque année depuis 2000 dans le bassin AP (moyenne 17 par an, en France : 400 en 2021)

pour des causes de qualité de l'eau (nitrate et pesticides) dans 39 % des cas depuis 2020 (33 % en France)

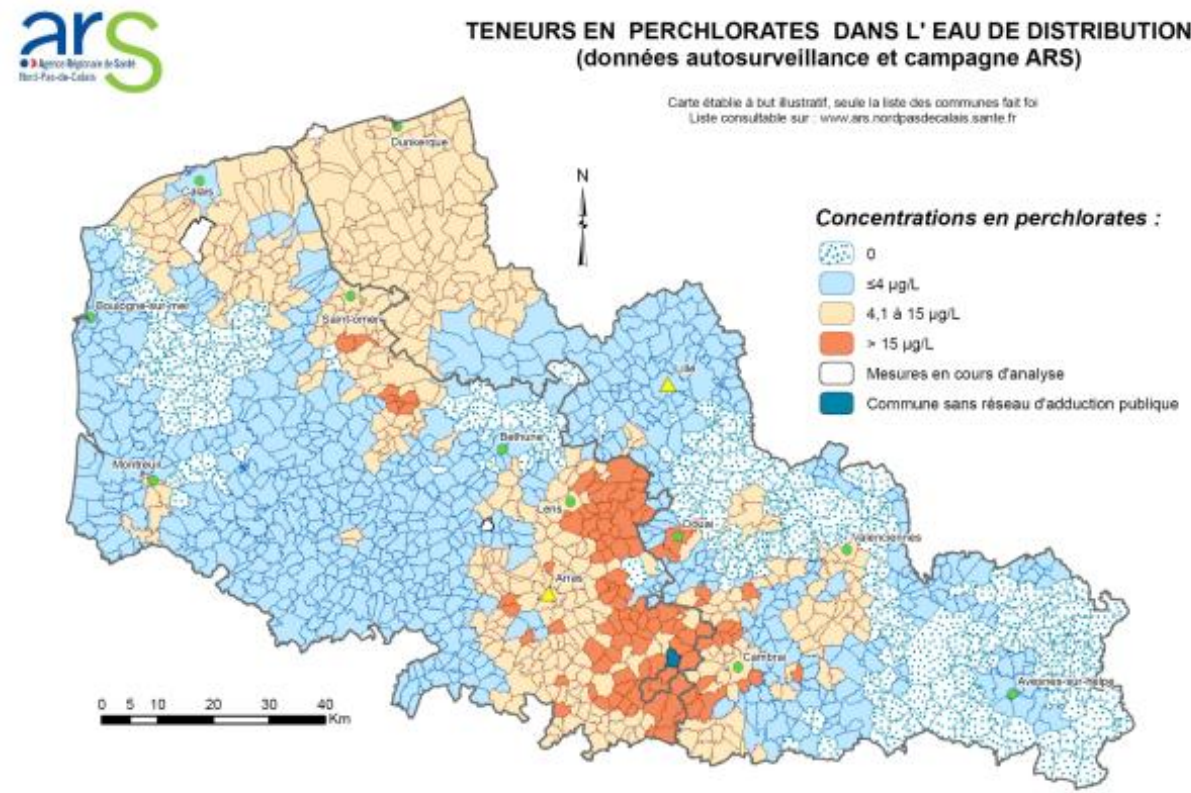


Augmentation de la pression quantitative sur un nombre de captages qui diminue !

1.2 Etat qualitatif des nappes du bassin Artois-Picardie



Les perchlorates interfèrent avec le processus d'incorporation de l'iode par la thyroïde ; ils peuvent donc induire une diminution dans la synthèse des hormones thyroïdiennes (TSH). C'est un effet biologique.



Deux arrêtés préfectoraux pris en 2012, limitant les concentrations en perchlorates dans les eaux à 4 µg/L pour les nourrissons et à 15 µg/L pour les femmes enceintes ou allaitant.

LA VOIX DU NORD (2012) Région 3

Pollution aux perchlorates dans l'eau de nos robinets : pourquoi rien ne change

Octobre 2012 : une alerte à la pollution aux ions perchlorates est lancée dans la région. Les bébés de moins de six mois et les femmes enceintes et allaitantes de 54 communes du Nord-Pas-de-Calais sont priées de ne plus boire l'eau du robinet. Aujourd'hui, la situation n'a pas beaucoup évolué.

Teneur en perchlorates dans l'eau de distribution

Concentrations de perchlorates :

- 0
- ≤4 µg/L
- 4,1 à 15 µg/L
- > 15 µg/L
- Mesures en cours d'analyse
- Commune sans réseau d'adduction publique

LES PERCHLORATES, C'EST QUOI ?
Les perchlorates sont des sels d'origine naturelle, mais ils peuvent aussi être produits artificiellement. Ils sont utilisés dans l'industrie chimique, notamment pour la fabrication d'explosifs. Ils sont également présents dans les engrais et les produits de nettoyage. Ils sont considérés comme des perturbateurs endocriniens et peuvent avoir des effets néfastes sur la santé, notamment sur la thyroïde.

UNE RESTRICTION HISTORIQUE ?
La Direction générale de la santé a émis une recommandation en 2012, limitant les concentrations de perchlorates dans l'eau de distribution à 4 µg/L pour les nourrissons et à 15 µg/L pour les femmes enceintes et allaitantes.

La Voix du Nord

Édition Principale
samedi 21 octobre 2023 - 11:49 Europe/Paris

LaVoixdunord.fr
531 mots - 2 min

Une étude d'ampleur pour mieux comprendre et traiter les perchlorates dans l'eau potable

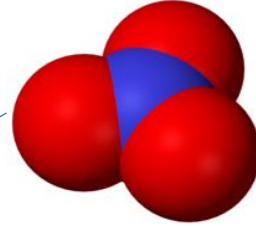


1.3 Eléments historiques

Cap horniers
du nitrate, du
Chili à
Dunkerque



le nitrate naturel est un
engrais



POURQUOI LA FLANDRE
OBTIENT-ELLE DE SI FORTES RÉCOLTES ?



parce qu'elle emploie
plus d'engrais chimiques
et notamment par hectare
deux et demi fois plus de
NITRATE DE SOUDE

que les autres provinces de la Belgique

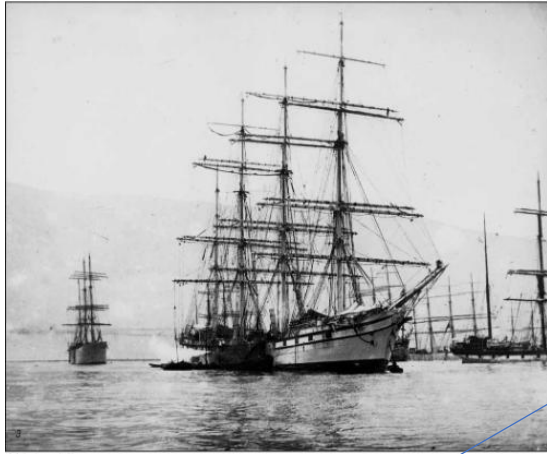
BRGM WWW.BRGM.FR

Industrie agricole
développée déjà au début
du XXe siècle



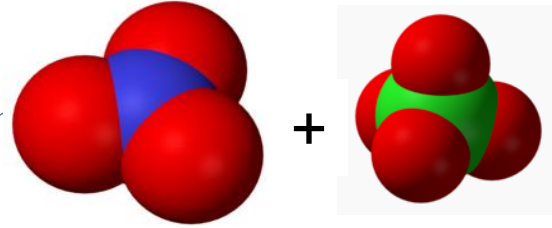
1.3 Éléments historiques

Cap horniers
du nitrate, du
Chili à
Dunkerque



le nitrate naturel est un
engrais et un composant de
base des explosifs

→ contient des traces de perchlorate



Utilisé dans les munitions de la première
guerre mondiale **mais pas par tous les
belligérants ni tout le temps**



Industrie agricole
développée déjà au début
du XXe siècle



1.4 Qualité des eaux souterraines: où en sommes-nous ?

Le rapport ANSES (avril 2023) décrit les résultats obtenus pour 3 classes de composés d'intérêt :

- des pesticides et métabolites de pesticides,
- des résidus d'explosifs,
- le 1,4-dioxane.

Dans les Hauts de France et le Grand Est, les contaminations sont plutôt d'origine historique avec principalement des molécules de la famille des nitrotoluènes, des dinitrotoluènes, ou encore des amino-dinitrotoluènes (ANSES, 2023).

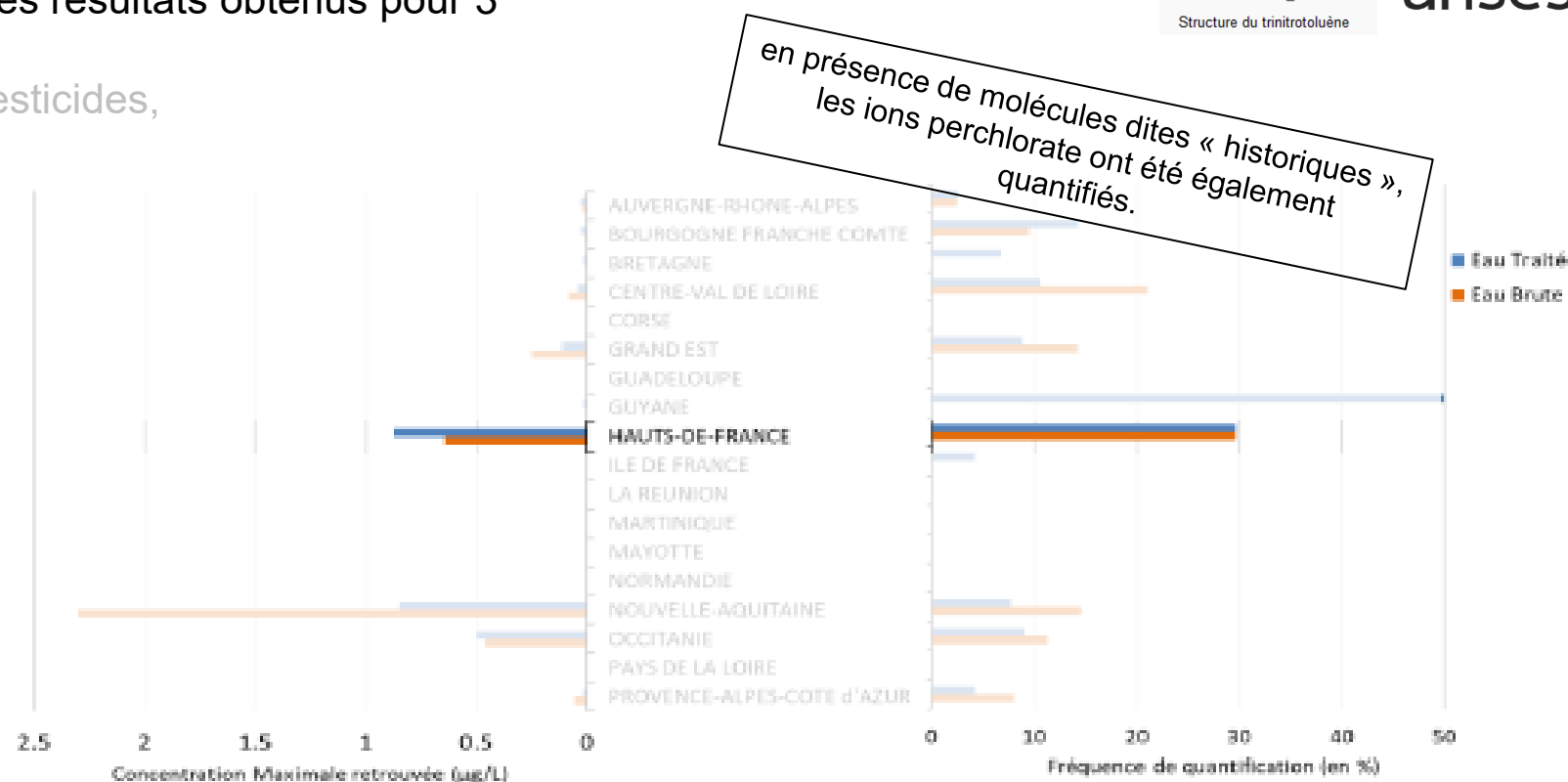
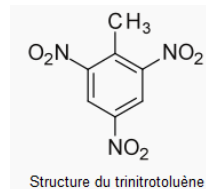
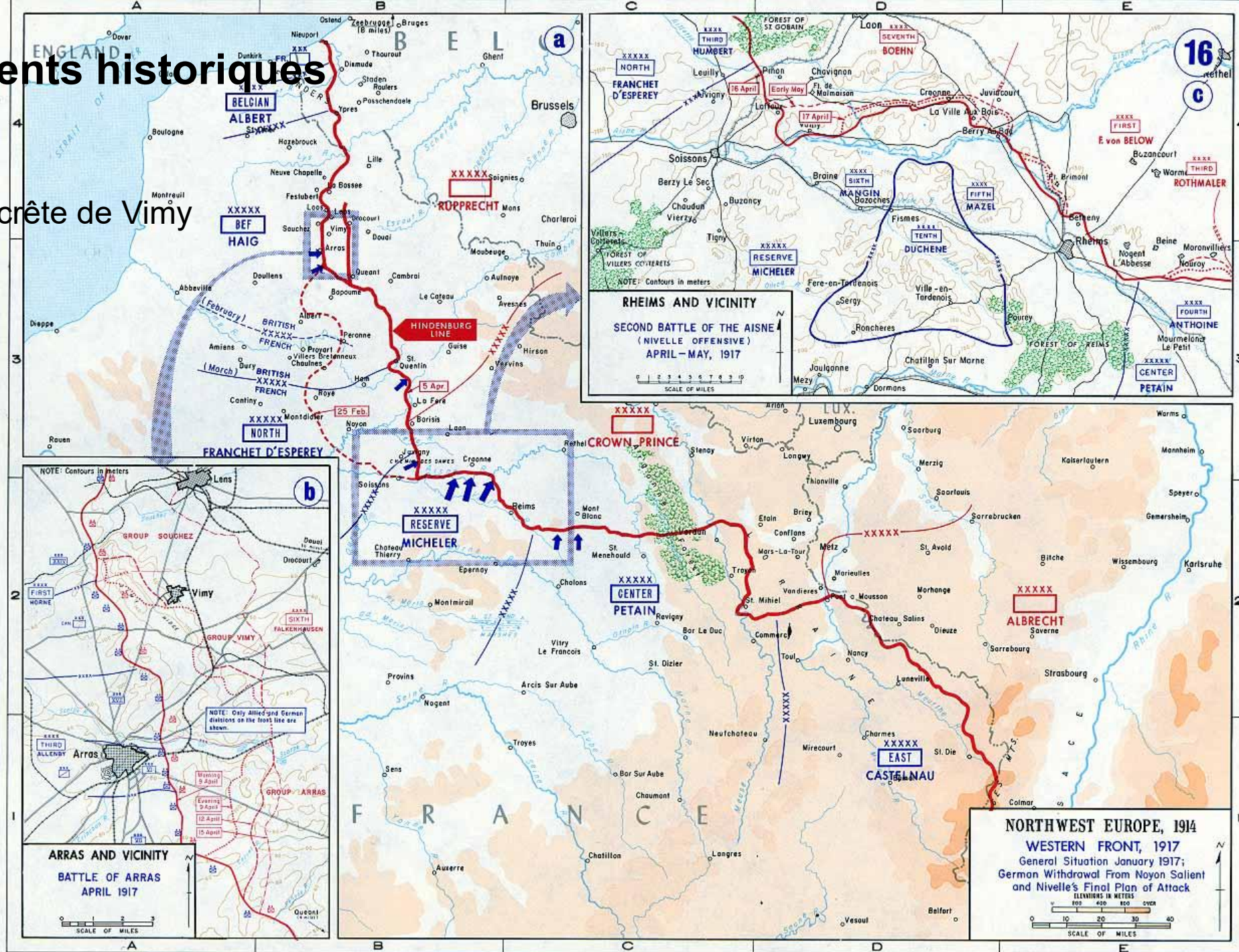


Figure 12 : Fréquence de quantification des résidus d'explosifs par région avec les concentrations maximales associées ANSES (2023)

1.3 Eléments historiques

Bataille de la crête de Vimy
Avril 1917



1.3 Éléments historiques

L'EFFORT FRANÇAIS LE NORD RESSUSCITE

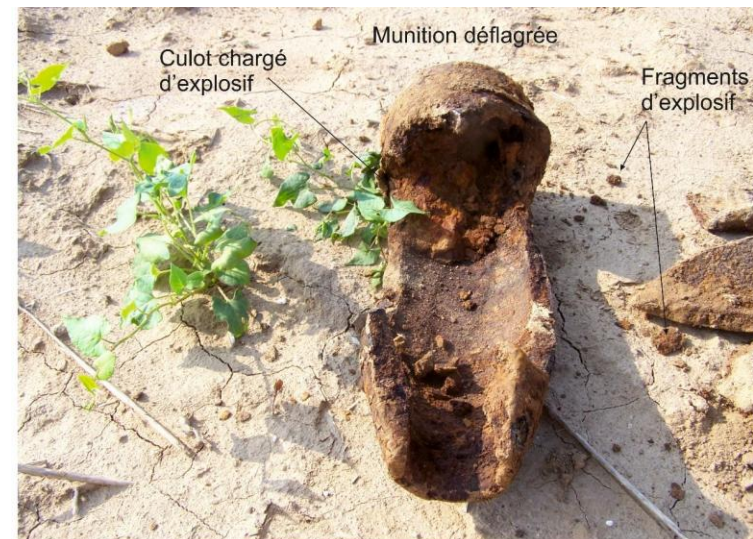


1.3 Éléments historiques

UXO, surplus et engins explosibles abandonnés par millions



Engins partiellement détonés et charges souterraines abandonnées



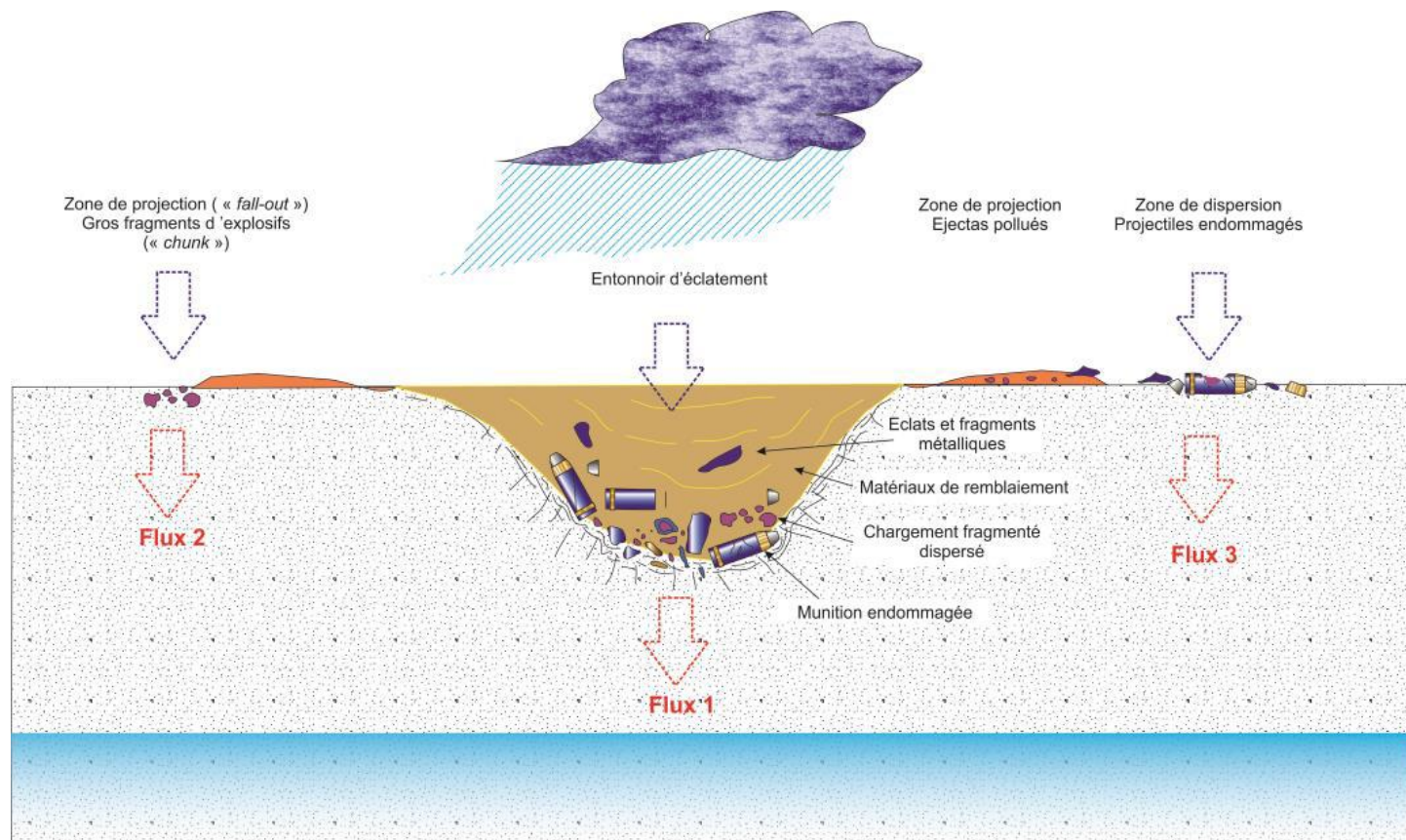
Thélus, Vimy (Pas-de-Calais). Source: Cardem-pyro



Thélus, Vimy (Pas-de-Calais). Source: Cardem-pyro

1.3 Eléments historiques

Les « terrains d'explosion »



1.3 Eléments historiques

Les explosifs perchloratés (NH_4ClO_4 , KClO_4 + paraffine) ont été essentiellement utilisés par les Français durant la guerre de position pour grenades et artillerie de tranchée → phase de la guerre durant laquelle le secteur étudié était essentiellement tenu par **les Britanniques face aux Allemands**

Les **Britanniques** utilisèrent les explosifs perchloratés de façon anecdotique car ils étaient riches en charbon (comme **l'Allemagne**) et pouvaient produire tous les explosifs nitroaromatiques (dont le TNT, DNT) qu'ils souhaitaient → ils réservaient la puissance électrique non pas pour produire chlorate / perchlorate mais pour produire des gaz de combat à base de chlore.

TNT (2,4,6-trinitrotoluène), DNT (2,4-, 2,6-dinitrotoluène), acide picrique (2,4,6-trinitrophénol) « coupés » avec du nitrate d'ammonium étaient majoritaires.

Les **Britanniques** constituèrent leurs charges explosives souterraines sous Vimy à base d'ammonal (contraction pour nitrate d'ammonium + Al); les **Allemands** minèrent aux explosifs de sureté (mélanges de composés nitroaromatiques et de nitrate d'ammonium).

De récentes recherches (Hubé, 2024) montrent que certains explosifs de sureté standards allemands étaient « pollués » de façon inattendue par les ions perchlorate.

Différentiels notables de mobilités entre perchlorate et les NAC



: traceur parfait

En conclusion, l'évolution de la ligne de front et de la stratégie de gestion des obus après-guerre a influencé la répartition spatiale et temporelle des sources d'ions perchlorate dans les aires d'alimentation des captages étudiées.



Nécessité de comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème de la craie, les temps de résidence,...

NB : il est estimé que les ions perchlorates représentent 1/10ème du tonnage des explosifs utilisés, tous persistants dans l'environnement.

terre durable



MÉTHODOLOGIE ET PREMIERS RÉSULTATS

Pour comprendre le fonctionnement de la nappe,
l'évolution des concentrations en perchlorates et NAC :

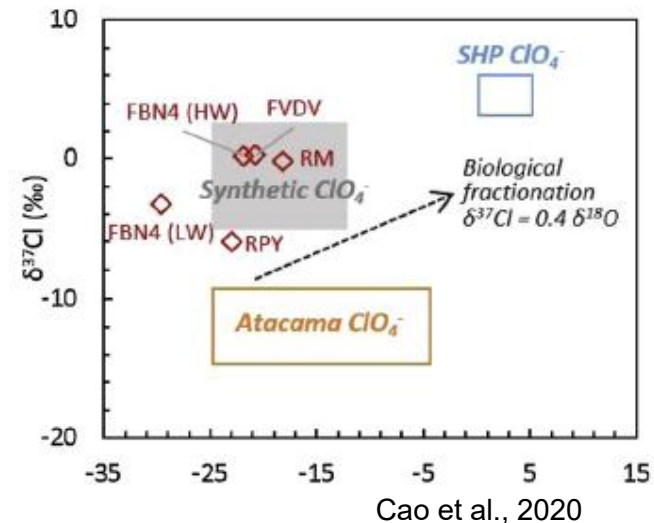
- analyses isotopiques et de datation
- suivi rapproché de la chimie de la nappe pour étudier comment varient les concentrations en perchlorates

2. Méthodologie et résultats

Devenir des captages / investissements ?

arrêtés préfectoraux limitant les concentrations en perchlorates dans les eaux à 4 µg/L pour les nourrissons et à 15 µg/L pour les femmes enceintes ou allaitant.

- Prélèvement / suivi chimie des eaux sout.
- Campagnes « haute fréquence »
 - Campagne spéciale « isotopie des perchlorates et datation »



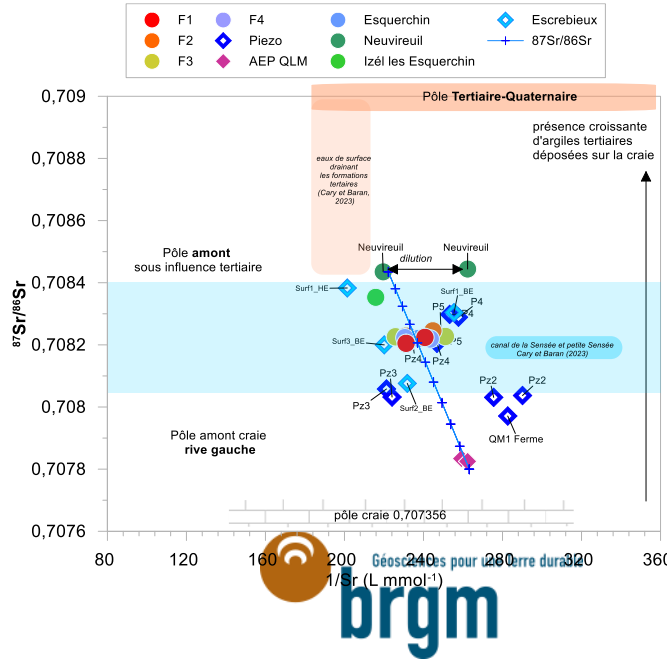
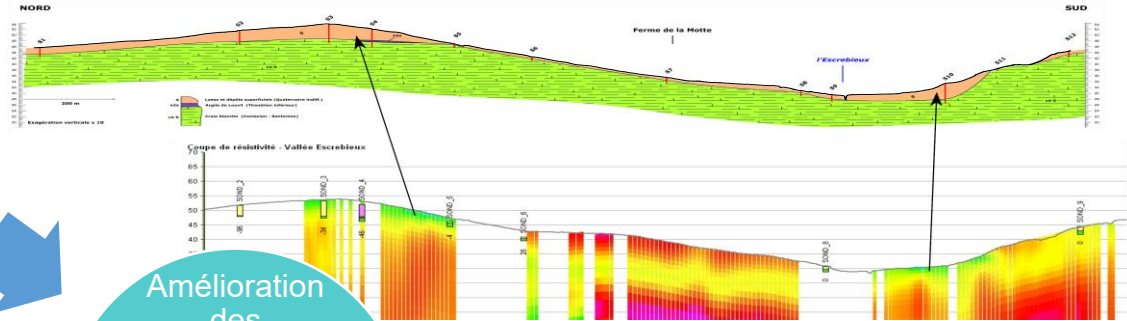
Meilleure anticipation du devenir des forages vs CIO4

Origine et comportement des ions perchlorates (recharge, basses-eaux, pompages...)

Éléments historiques (sources des polluants : agri vs guerre)

Fonctionnement de l'hydrosystème (origines, temps de résidence...)

Amélioration des connaissances géologiques (présence ou non d'argiles tertiaires, structuration de la craie...)



2.1 Méthodologie

Campagne spéciale « isotopie des perchlorates et datation »



Document à accès réservé

Sources et origines des ions perchlorate dans la nappe de la craie de champs captants de Lille, Lens, Hénin-Carvin et Douai. Eléments historiques.

Rapport final
BRGM/RP-74467-FR
6 mai 2025

Étude réalisée dans le cadre des projets de recherche et développement

Hubé D., Bonnière A., Cary L.

1 89 3740 45 625 5

Ce rapport a été vérifié le Cliquez ou appuyez ici pour
entrer une date. et approuvé le Cliquez ou appuyez ici
pour entrer une date. selon la procédure interne en
vigueur au sein du BRGM, qui garantit le respect de ses
engagements contractuels, de l'intégrité et de
l'impartialité du contenu scientifique et technique du
présent rapport, de l'éthique et de la déontologie du
BRGM, ainsi que des dispositions réglementaires et
législatives auquel il est soumis pour l'exercice de son
activité.

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr

MERCI À TOUS !