Support de cours intégral

La Signature de l'Eau

L'**hydrochimie** des eaux souterraines : De la goutte d'eau à l'analyse **géochimique.**



NotebookLM

1. Atmosphère (Le point de départ)

Eau peu minéralisée. Contient des gaz dissous (CO_2, O_2) et des aérosols.

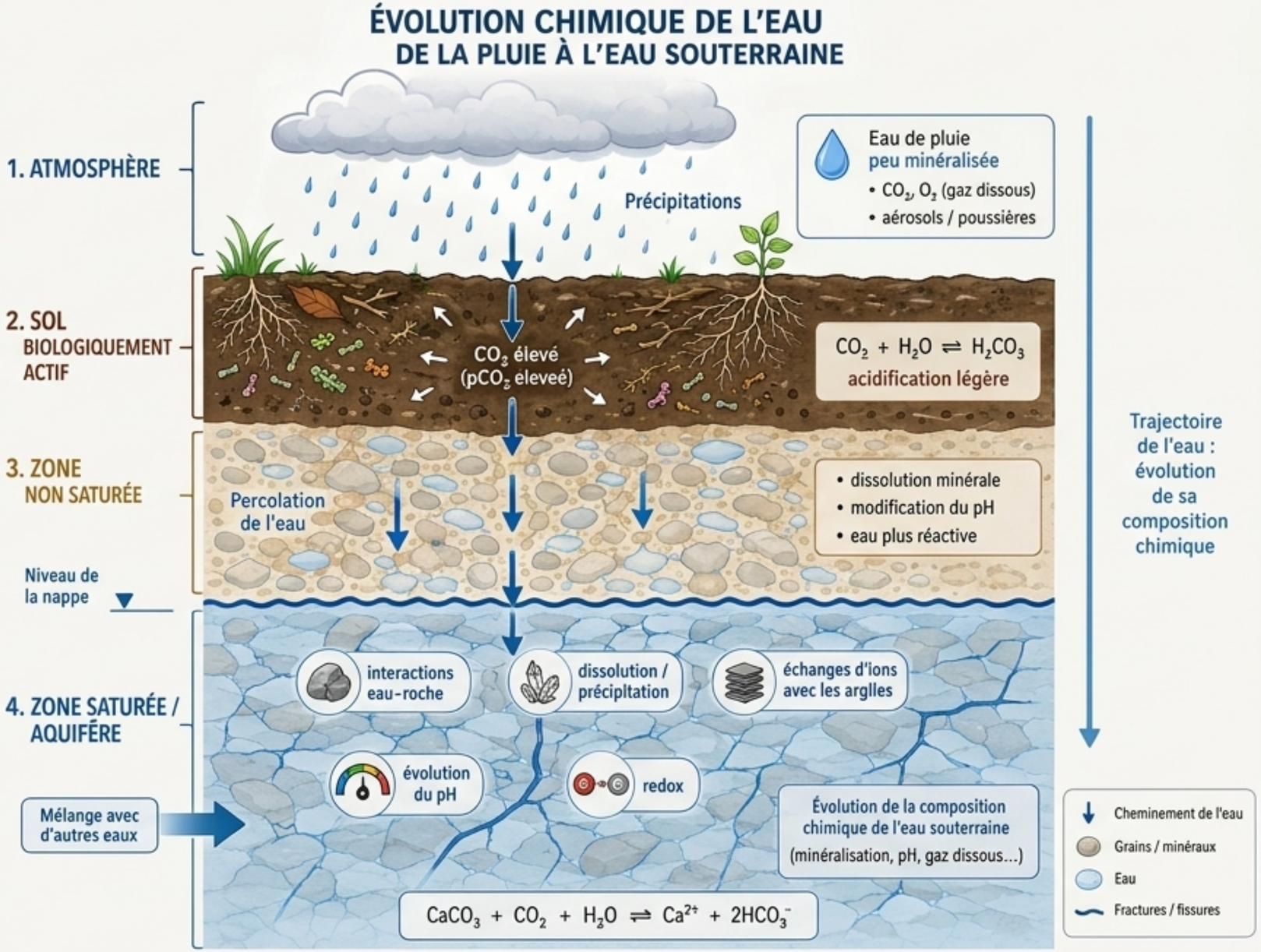
2. Le Sol (Le réacteur biologique)

Milieu très actif.
Explosion de la pression de CO_2 (respiration des racines/microbes).
Création d'acide carbonique ($CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$). L'eau devient agressive.

3. L'Aquifère (L'empreinte géologique)

Interactions eau-roche. Dissolution, échanges d'ions, et évolution de l'état redox. L'eau acquiert sa signature finale.

L'eau **n'est jamais neutre** en profondeur ; c'est un solvant en constante évolution.



NotebookLM

Minéralisation (TDS)



- **Le Concept** : La masse physique.
- **La Définition** : Quantité totale de substances minérales dissoutes (Total Dissolved Solids). Exprimée en mg/L.
- **L'Indicateur** : Renseigne sur le temps de résidence et la lithologie.

Conductivité Électrique (CE)



- **Le Concept** : La mobilité électrique.
- **La Définition** : Capacité de l'eau à conduire le courant. Mesure instantanée sur le terrain via une sonde.
- **L'Application** : Détecte brutalement les mélanges, pollutions salines ou crues.

Règle d'Or : Une conductivité élevée implique une forte minéralisation, mais n'identifie jamais la nature exacte des ions présents.

NotebookLM

Cations ⊕

Ca^{2+} (Calcium) & Mg^{2+} (Magnésium)
Souvent issus des calcaires et dolomies.

Na^{+} (Sodium) & K^{+} (Potassium)
Apports marins, évaporites ou altération lente des silicates.

⊖ Anions (-)

HCO_3^- (Bicarbonate)
Marqueur du système carbonaté (karsts).

SO_4^{2-} (Sulfate)
Issu du gypse ou de l'oxydation de sulfures.

Cl^- (Chlorure)
Traceur très mobile (mer, évaporites, sels).

NO_3^- (Nitrate) ☣
Présent naturellement en traces, mais des concentrations élevées sont le marqueur indubitable d'un impact anthropique (agriculture, eaux usées). C'est le principal indicateur de vulnérabilité.

NotebookLM

[Cation Dominant] + [Anion Dominant] = Le Faciès Hydrochimique

$[Ca^{2+}] + [HCO_3^-] =$ *Eau Bicarbonatée Calcique*

1. Bicarbonatée Calcique

L'eau classique des aquifères calcaires et karstiques. Pouvoir tampon élevé.

2. Sulfatée Calcique

Circulation dans des formations gypseuses. Minéralisation souvent rapide et forte.

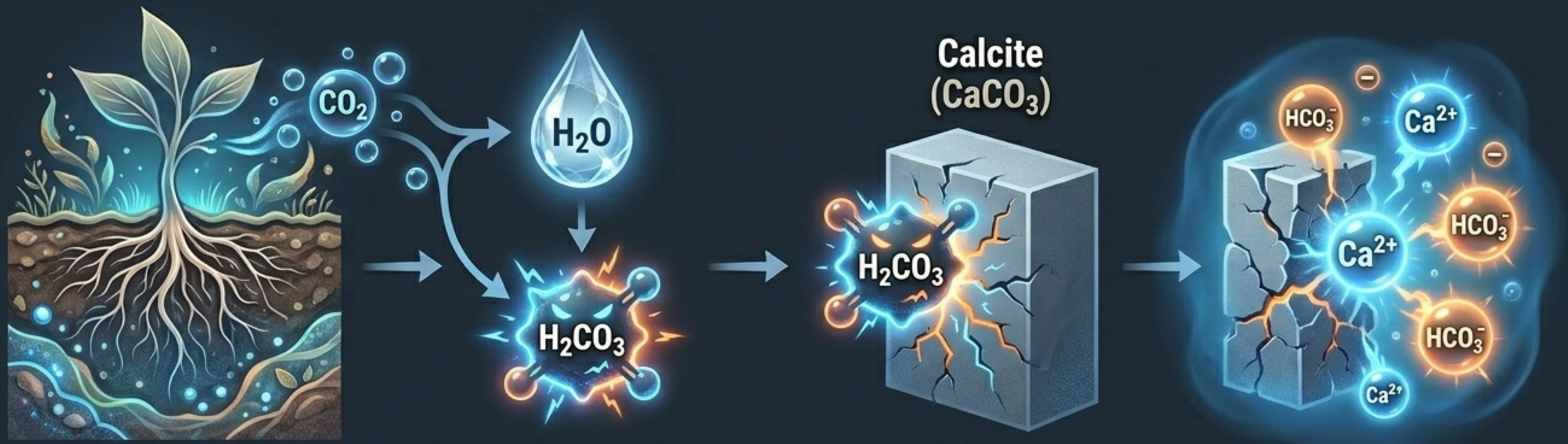
3. Chlorurée Sodique

Influence marine, dissolution d'halite (sel), ou eau profonde captive.

Le faciès est la signature chimique, mais il doit toujours être croisé avec la géologie et le contexte de terrain.

NotebookLM

$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows Ca^{2+} + 2HCO_3^-$



Respiration biologique → **Formation d'Acide Carbonique** → **Attaque chimique** → **Libération des ions**

Le Pouvoir Tampon : Cette réaction génère l'Alcalinité. Une eau riche en bicarbonates possède un 'bouclier chimique' (pouvoir tampon) qui limite les variations brutales de pH.

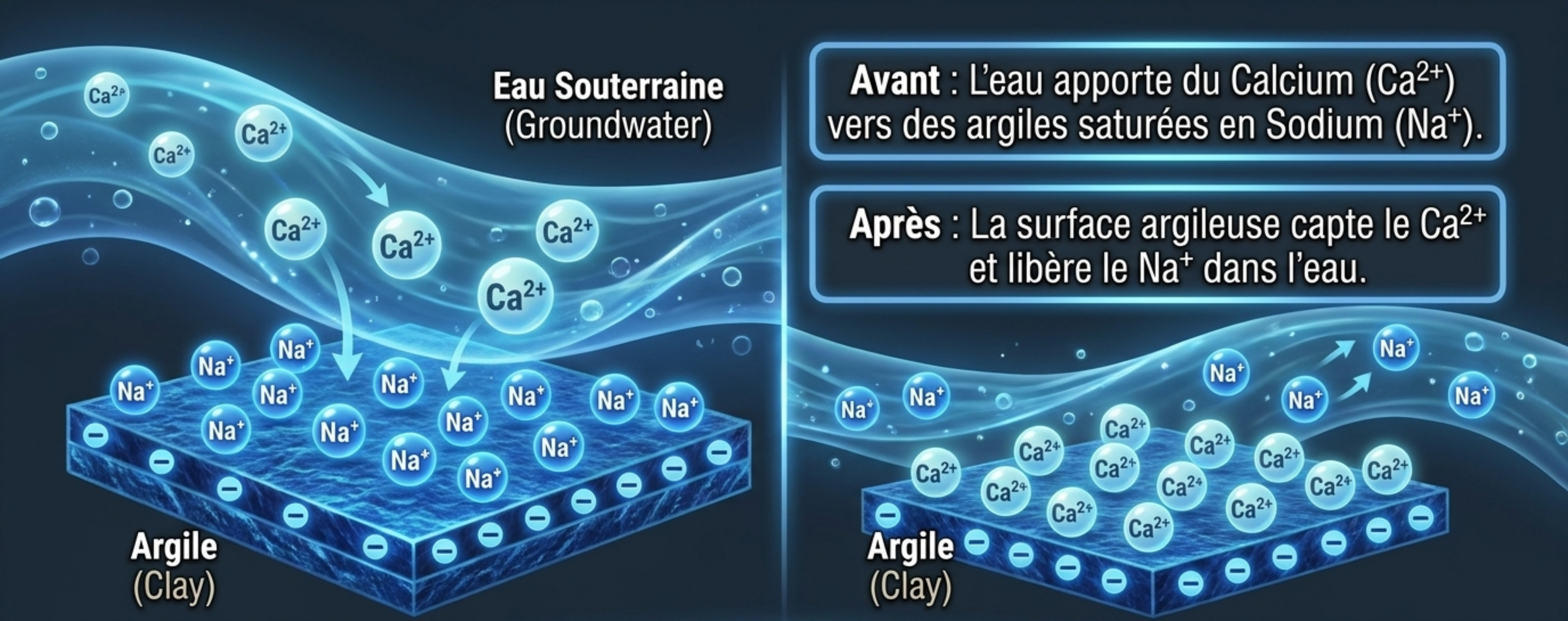
NotebookLM





Lithologie	Dynamique de Dissolution	Ions Libérés
Évaporites Gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), Halite ($NaCl$).	**Très rapide.** Peut provoquer des effondrements/subsidence. Minéralisation forte et immédiate.	Fortes teneurs en SO_4^{2-}, Cl^-, Na^+.
Silicates Roches magmatiques/ métamorphiques (Quartz, Feldspaths).	**Lente (altération chimique).** Minéralisation globale souvent faible.	Silice dissoute, Na^+, Na^+, K^+, et formation d'argiles secondaires.

NotebookLM



Avant : L'eau apporte du Calcium (Ca^{2+}) vers des argiles saturées en Sodium (Na^{+}).

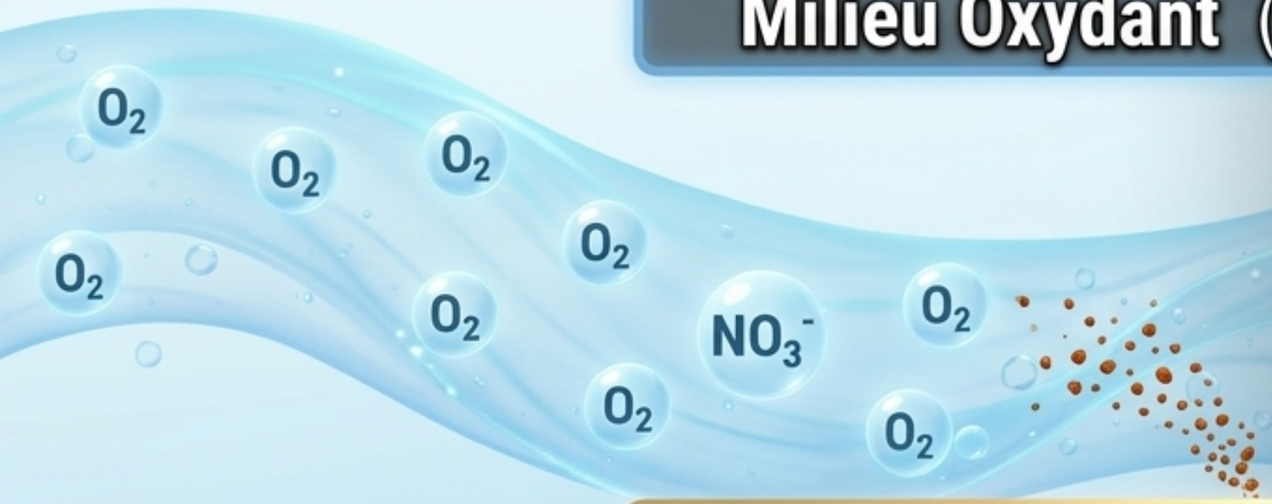
Après : La surface argileuse capte le Ca^{2+} et libère le Na^{+} dans l'eau.

Le Rôle Chimique des Argiles : L'Échange Cationique

Les argiles ne sont pas de simples 'bouchons' imperméables. Leurs charges de surface réécrivent la signature de l'eau. Une nappe peut devenir sodique sans jamais avoir dissous de sel (Halite). C'est la signature des nappes captives à long temps de résidence.

NotebookLM

Milieu Oxydant (Surface / Nappe Libre)



- **Oxygène** : Abondant.
- **Polluants** : Les nitrates (NO_3^-) sont hautement stables et très mobiles.
- **Métaux** : Le Fer et le Manganèse sont insolubles. Ils précipitent en dépôts solides.

Attention au Colmatage :
Remonter une eau réductrice (chargée en fer dissous) vers la surface (milieu oxydant) provoque une précipitation soudaine et le colmatage des réseaux.



- **Oxygène** : Consommé / Absent.
- **Polluants** : Dénitrification. Les nitrates sont détruits par l'activité microbienne.
- **Métaux** : Le Fer et le Manganèse deviennent solubles dans l'eau.

Milieu Réducteur (Profond / Nappe Captive)

NotebookLM

Étape 3 :La Projection

Le lopérez les proportions relatives de Calcium, pour identifier instantanément le Faciès Global.

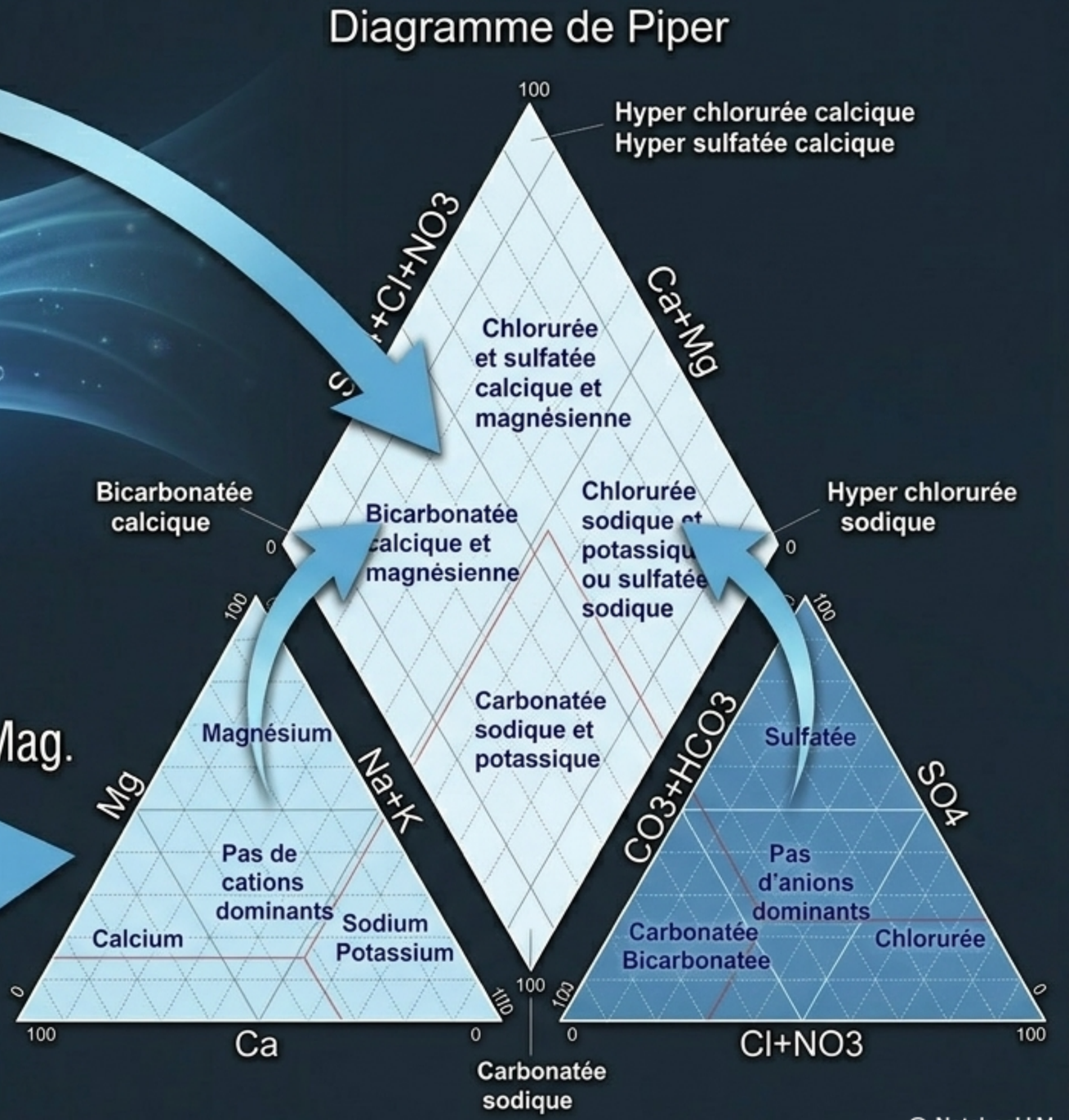
Étape 2 : Les Anions

Repérez les proportions relatives de Bicarbonate, Sulfate, et Chlorure.

Étape 1 : Les Cations

Repérez les proportions relatives de Calcium, Mag. et Instanément+Pontassium.

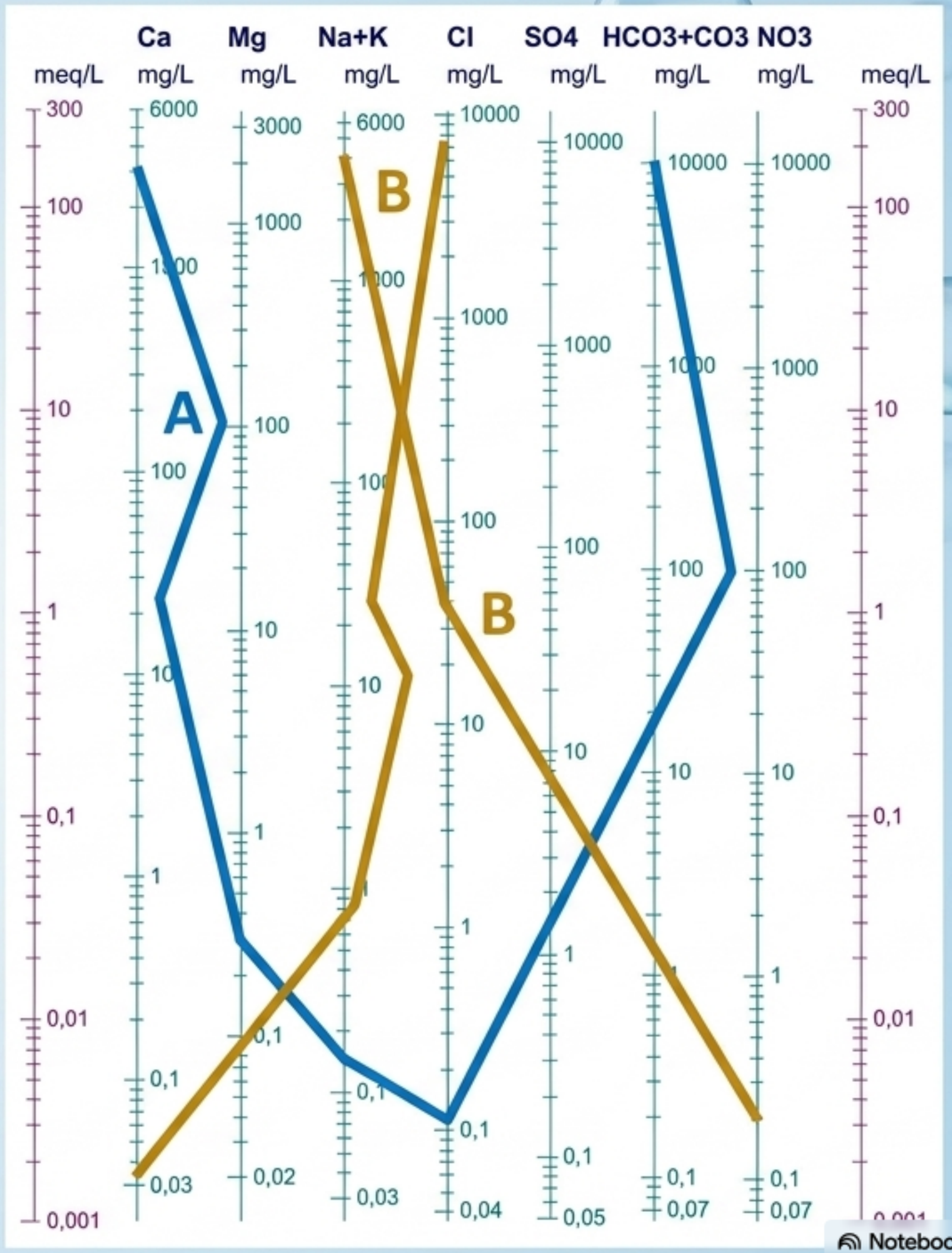
L'ADN de l'eau : Ce diagramme ignore la dilution pour se concentrer sur les pourcentages d'équivalents. Il révèle des familles d'eau.



NotebookLM

Décrypter le Diagramme de Schoeller-Berkaloff : La Reconnaissance de Formes

- **Le Principe** : Les concentrations sont reportées sur des axes verticaux logarithmiques.
- **L'Utilité** : On ne cherche pas à lire des chiffres exacts, on lit une Signature.
- **L'Analyse Visuelle** : Des lignes parallèles indiquent une même famille d'eau (différents degrés de dilution). Des lignes qui se croisent ou ont des profils asymétriques (comme ci-contre) indiquent des aquifères totalement différents. C'est l'outil parfait pour repérer les mélanges.



NotebookLM

Naturel (Le Fond Géochimique)

Éléments : Fer, Manganèse, Fluor, Arsenic, Sulfates.

Règle de diagnostic : Une concentration élevée n'est pas forcément une pollution. C'est le reflet de la géologie locale. (Peut nécessiter un traitement pour la potabilité).

Anthropique (La Contamination)

Éléments : Nitrates (NO_3^-), Pesticides, Solvants, Bactéries (E. coli).

Règle de diagnostic : Indique une connexion rapide avec la surface ou une grave vulnérabilité de la nappe.

Étude de Cas : L'Intrusion Saline



Un cas hybride. L'eau salée est naturelle, mais le pompage excessif en zone côtière inverse le flux. La lentille d'eau douce recule, l'eau de mer remonte. La sur-exploitation transforme une ressource naturelle en contamination saline.

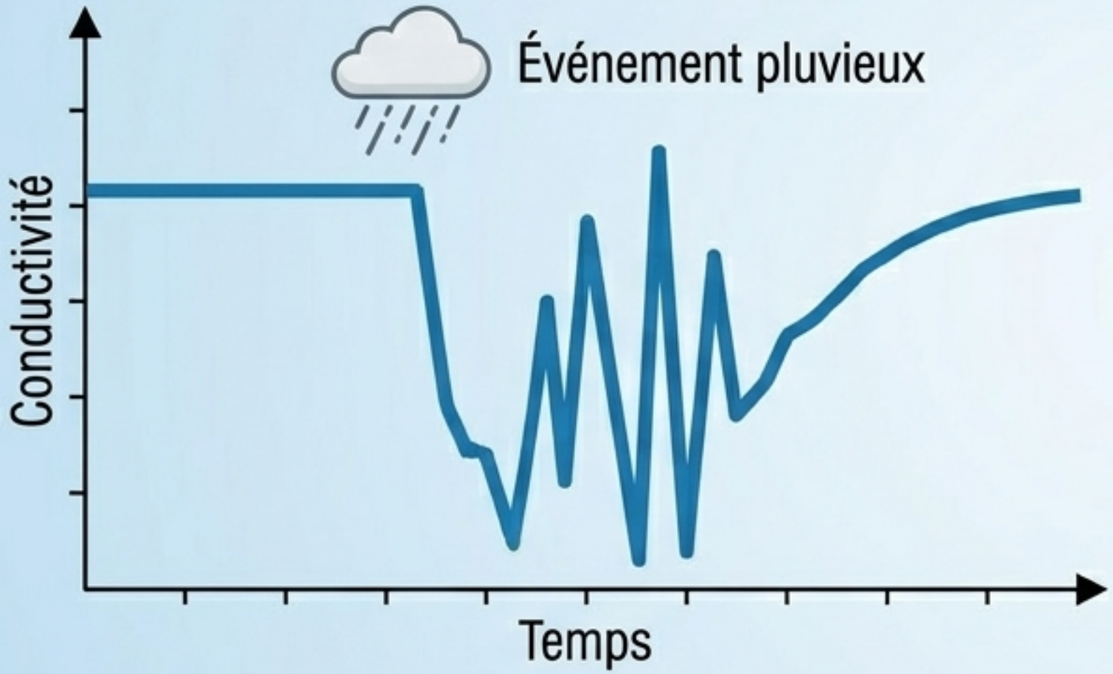


NotebookLM

La Dynamique Temporelle :

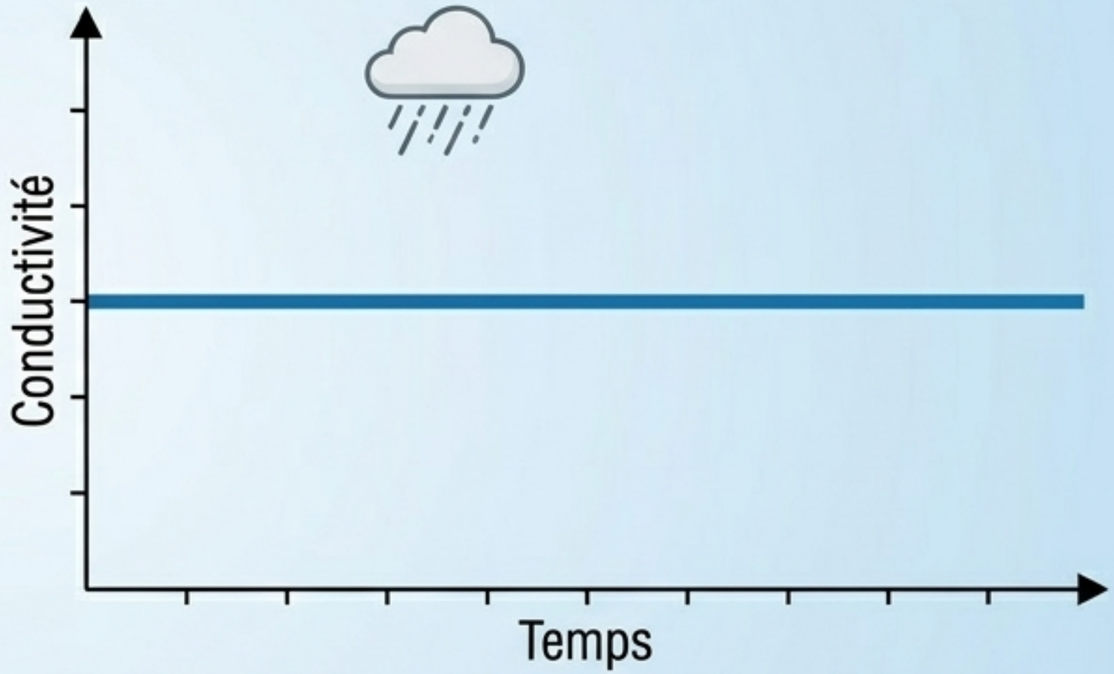
Une analyse est une photographie, la qualité est un film.

Le Système Réactif (Karst / Nappe Libre)



L'eau de pluie s'infiltre via des conduits géants. La qualité chimique chute brutalement et la turbidité explose après l'orage. Très forte vulnérabilité.

Le Système Inerte (Nappe Profonde / Captive)



L'eau met des décennies à percoler. La température et la chimie sont lissées et constantes toute l'année.

Le mélange de ces deux extrêmes (eau récente + eau ancienne) au sein d'un même forage est la norme, pas l'exception.

NotebookLM

STEP 1

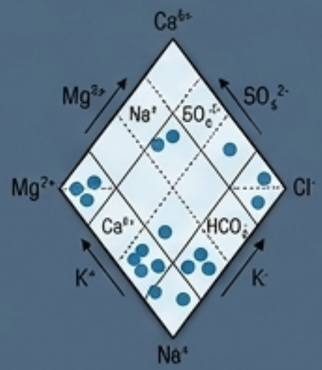


1. Vérifier les fondamentaux

pH, Température, Conductivité Électrique.

Est-ce une eau minéralisée ? Récente ou profonde ?

STEP 2



2. Identifier le Faciès

Cations et Anions dominants via les diagrammes.

Est-elle bicarbonatée calcique (karst) ou chlorurée sodique (sel) ?

STEP 3

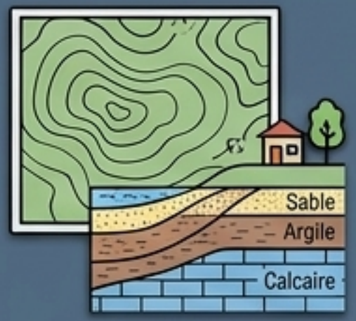


3. Chercher les anomalies

Nitrates (NO_3^-) très élevés ? Fer/Mn dissous ?

Identifier le marqueur anthropique ou l'état redox.

STEP 4



4. Relier au terrain

Croiser l'analyse avec la géologie et l'occupation des sols.

Le diagnostic final se fait toujours sur le terrain, jamais au laboratoire.

NotebookLM



1. L’Histoire Géologique

La minéralisation globale (Conductivité) et le faciès hydrochimique racontent le temps de résidence et la nature exacte des roches traversées.



2. L’ADN par les Diagrammes

Les outils géochimiques (Piper, Schoeller) ne lisent pas seulement des chiffres isolés ; ils identifient des signatures complètes pour repérer les mélanges d'eaux.



3. L’Interrupteur Redox

L'oxygène dissous contrôle la chimie souterraine. Le passage d'un milieu oxydant à réducteur inverse instantanément la mobilité des nitrates et des métaux (Fer/Mn).



4. Le Contexte est Roi

Une concentration élevée n'est pas toujours une pollution (fond géochimique naturel). Une analyse s'interprète exclusivement à la lumière du contexte hydrogéologique.

NotebookLM