

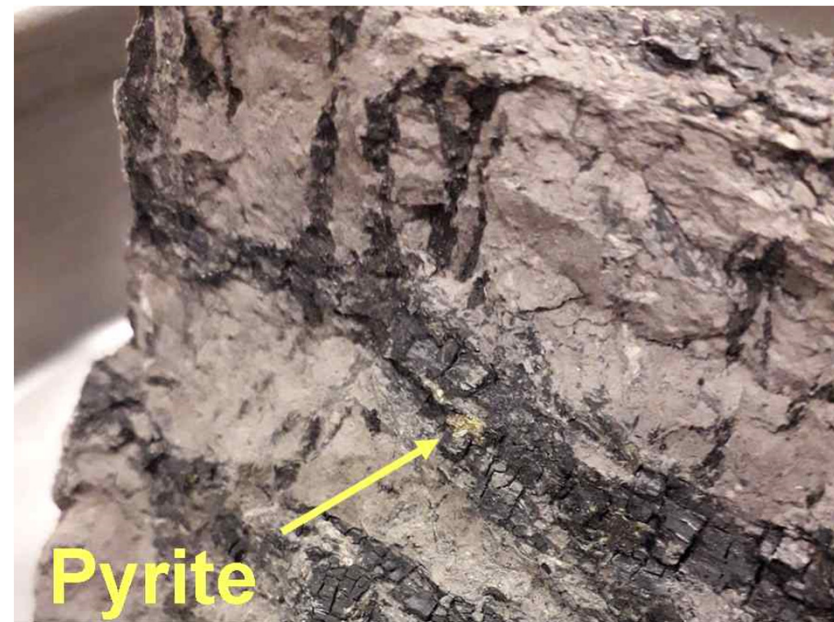
The problem of pyritic soils in underground works

Agnès Cherrey

CETU, Centre d'Etudes des
Tunnels, Av. François Mitterrand,
69500 Bron, France

Duc Myriam

GERS/SRO, Université Gustave
Eiffel, 14-20 boulevard Newton,
77447 Marne-la-Vallée, France.



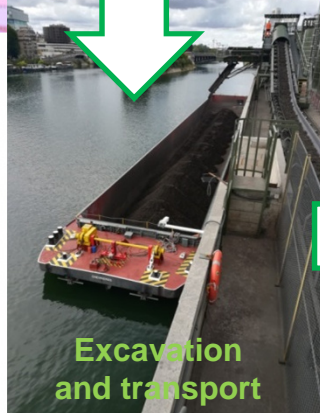
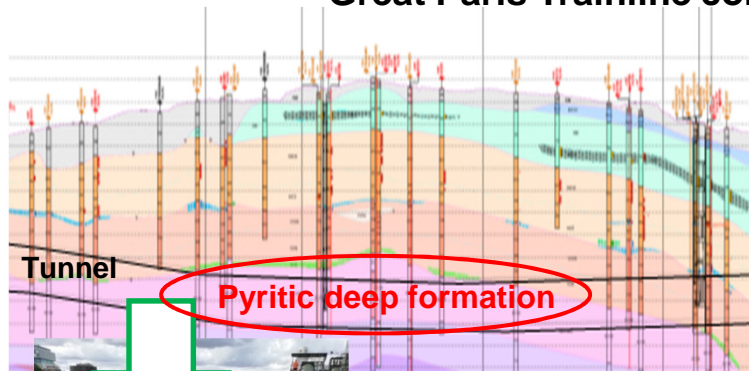
Formation des fausses glaises avec veine de lignite – Bassin Parisien

The problem of pyritic soils in underground works

- 1 - Introduction on the behavior of pyritic excavated soils
- 2 - Management procedures for excavated materials that may contain pyrite
- 3 - Measurement methods
- 4 - Conclusions

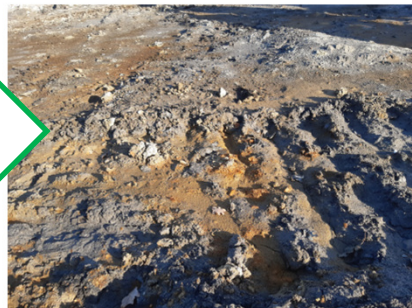
Context and problematic : the behavior of pyritic excavated soils

Feedback from tunneling works in Ile-de-France
Great Paris Trainline construction (SGP) and EOLE project (SNCF)



Excavation
and transport

Evolution on disposal



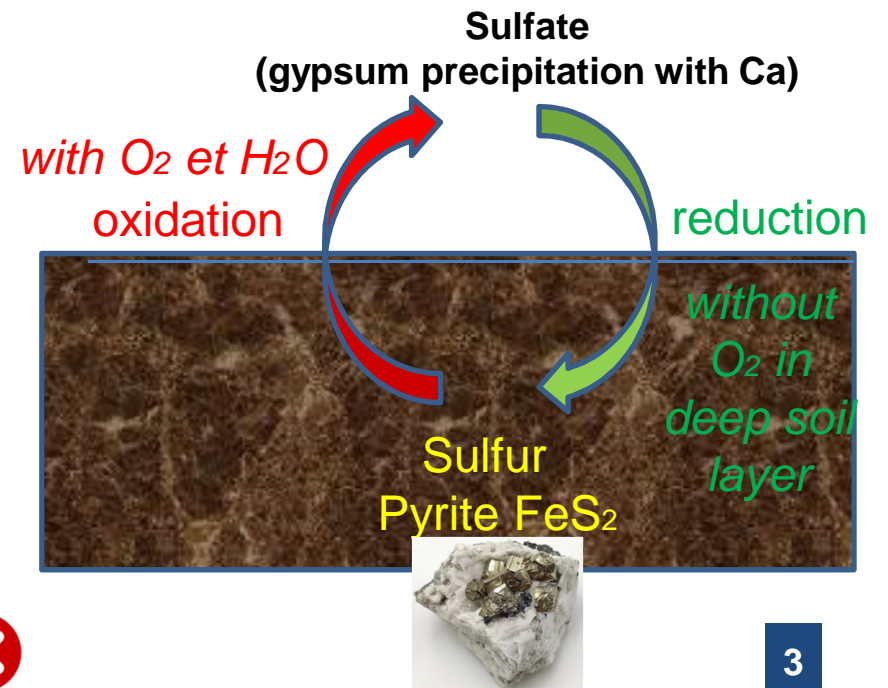
Environmental test



Environmental test

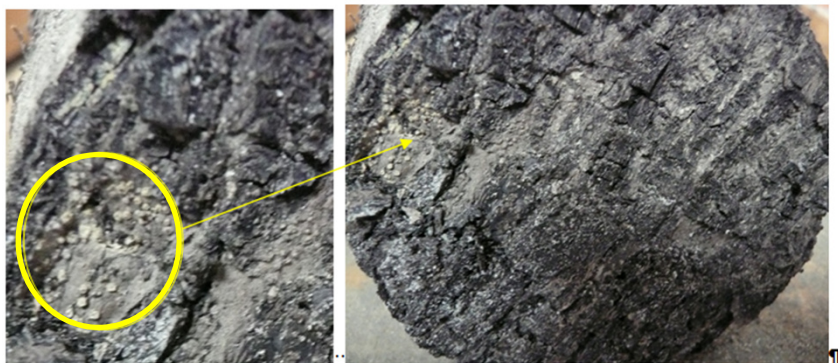


Biogeochemical cycle of S

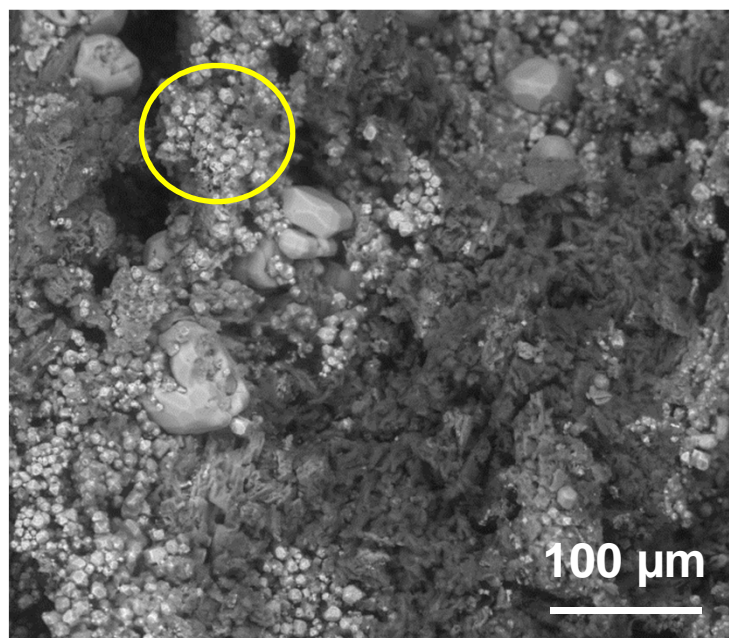


Context and problematic : the behavior of pyritic excavated soils

Pyrite macro (1 mm)



Pyrite micro (1 μm)



Context and problematic : the behavior of pyritic excavated soils

Environnemental impacts

- soil becomes red/ochre
- possible unpleasant odor (H_2S)
- acidification of site water until pH2
- increase of sulfate content in percolated water

storage area at Saint-Martin-la-Garenne,
near Mantes-la-Jolie (Yvelines, France)



<https://www.lefigaro.fr/flash-eco/pollution-evacuation-en-banlieue-parisienne-de-240-000-tonnes-de-deblais-20211103>

Pyrites



Need adequate
management!

Geotechnical impacts

Possible reaction between
cimentitious products and sulfur in
soil submitted to treatment for road
construction



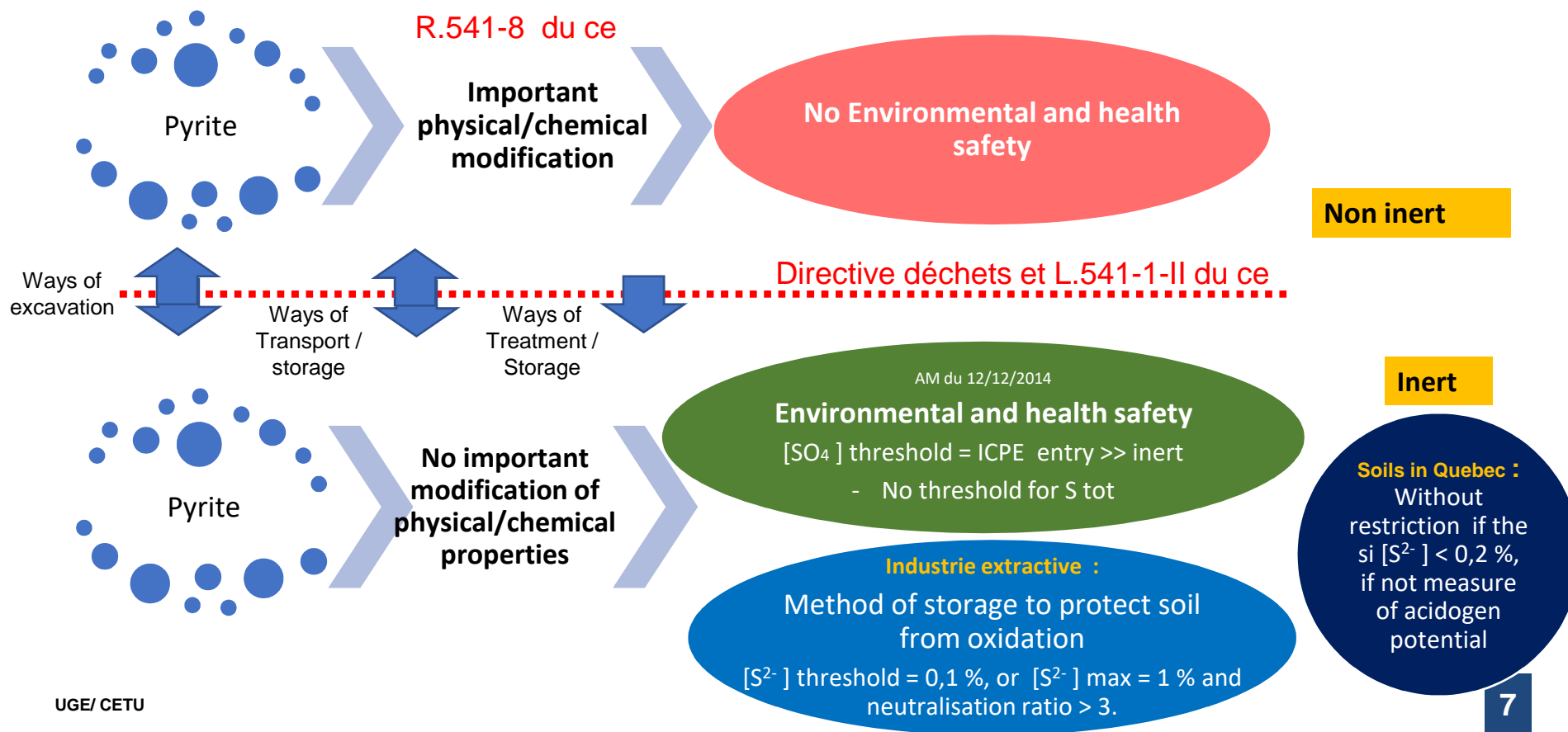
Cement-treated pyritic soil >> swelling

Pyrite, organic matter and soil treatment caused
disturbance on A28 motorway earthwork
(Y. Boussafir, M. Boussafir)

Management procedures for excavated materials that may contain pyrite

- ☐ Status of excavated material containing pyrite
- ☐ Management procedures :
 - ☐ Pyrite risk management procedures for underground structures in the Paris Basin
 - ☐ Pyrite risk management procedures for the Stuttgart-Ulm project (e.g. Bessler Tunnel - Germany)

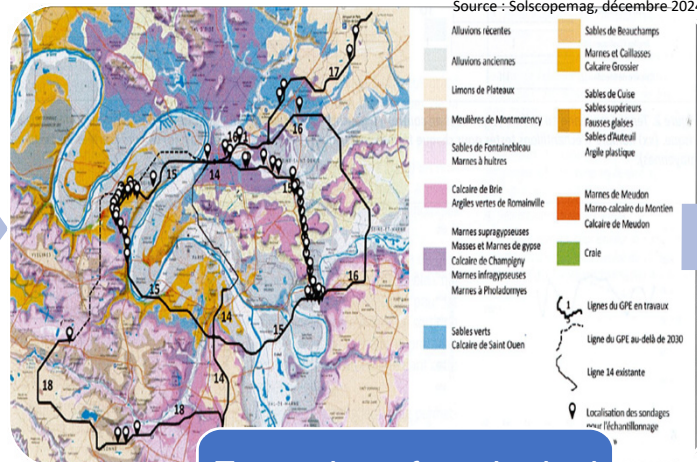
Management procedures : status of excavated material containing pyrite



Management procedures : pyrite risk management procedures for underground structures in the Paris Basin



Presence of millimetric pyrite (iron sulfide, FeS_2)



Extraction of geological units containing pyrite using a tunnel boring machine

Source : Arrêté IPréfectoral 2021, Ligne 15 Sud du réseau GPE

ARTICLE 1: Modification des prescriptions relatives à la caractérisation et à la gestion des déchets

L'article 4 de l'arrêté inter-préfectoral d'autorisation n° 2016/934 du 1^{er} avril 2016 modifié, relatif aux prescriptions générales en phase chantier, est complété par les dispositions suivantes :

« Le titulaire de la présente autorisation adresse au Service Prévention des Risques de la DRIEAT, sous un délai n'excédant pas 15 jours à compter de la notification du présent arrêté complémentaire, un protocole de gestion de ses déchets au regard du risque lié à la présence de pyrite et de son oxydation. Ce protocole contient au moins :

- une procédure de caractérisation des déchets au regard du risque lié à la pyrite, ainsi que ses modalités de mise en œuvre (délais des analyses, organisation logistique, nom des parties prenantes, etc.) ;
- une procédure de prise en charge des déchets en fonction des résultats de la caractérisation (traitement ou non, exutoires ciblés, etc.) ;
- une liste des sites le cas échéant ciblés pour réaliser un traitement de stabilisation par incorporation de matériaux carbonatés ou équivalent, régulièrement autorisés au titre de la législation des installations classées, avec un accord écrit de leurs exploitants ; l'ajout et/ou le retrait de sites à cette liste nécessite une information du Service Prévention des Risques de la DRIEAT ;
- une liste des exutoires finaux identifiés pour stocker les déchets provenant de couches géologiques pouvant contenir de la pyrite, régulièrement habilités à réaliser du stockage au titre de la législation des installations classées, avec un accord écrit de la part de leurs exploitants pour accueillir de tels déchets, et une estimation des capacités identifiées dans ces exutoires.

Management methods to avoid any risk of oxidation: characterization, identification of outlets and treatment by mixing with carbonates if necessary

Pyrite risk management methods for underground structures in the Paris Basin (dec 2021)



Gestion des déblais de chantiers de grandes infrastructures en Île-de-France contenant de la pyrite

P.L.:

BRGM/RP-70896-FR – Juin 2021 – Évaluation du protocole de traitement au calcaire de déblais du projet EOLE contenant de la pyrite

BRGM/RP-71252-FR – V2 du 15 novembre 2021 – Recommandations sur l'élaboration de valeurs limites sur le soufre pour des déblais provenant du bassin de Paris (chantiers du Grand Paris Express)

GEOLOGICAL EXPERTISE

SULFIDE CONTENT: STATIC TEST

$S^{2-} > 0,1\%$

NP/AP
RATIO < 4

CARBONATE TREATMENT

Usual MANAGEMENT

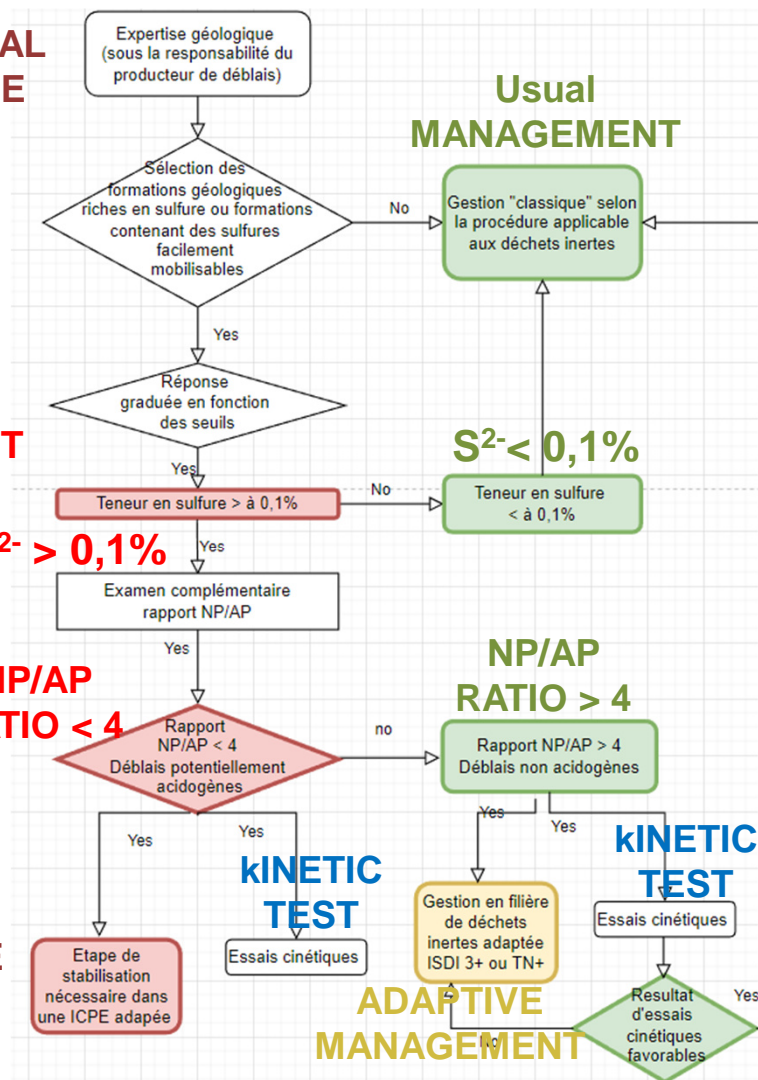
$S^{2-} < 0,1\%$

NP/AP
RATIO > 4

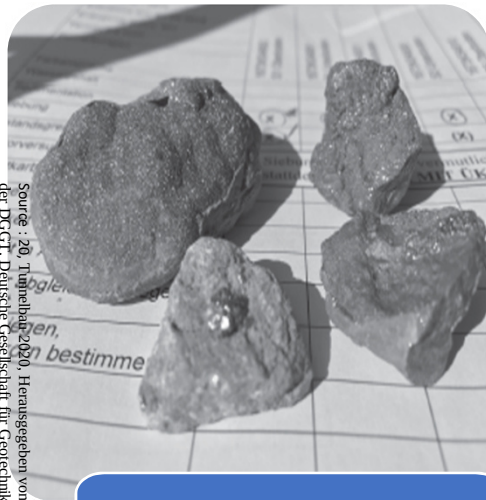
KINETIC TEST

ADAPTIVE MANAGEMENT

KINETIC TEST



Management procedures : pyrite risk management procedures for the Stuttgart-Ulm project



Source : 20, Tunnelbau 2020, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik

Presence of millimetric pyrite (iron sulfide, FeS_2)



Source : 2/01/20, Construction Crayola

Extraction of geological units containing pyrite using a tunnel boring machine



Source : 20, Tunnelbau 2020, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik

Management methods to avoid any risk of oxidation:
Compactness target for impermeable material



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Ständesekretariat des Umwelt, Klima und Energie Ministeriums Baden-Württemberg
Postfach 10 01 63, 70116 Stuttgart

Regierungspräsidien
Stuttgart
Karlsruhe
Freiburg
Tübingen

Stuttgart 01 04 2017
Frau Peter Dörflinger
Dienstadt 0711 230 2481
E-Mail: Peter.Dorflinger@mwk.bwl.de
Abwesenheit 23.04.2017
(Bitte bei Antwort angeben)

Untere Verwaltungsbehörden
der Stadt- und Landkreise

Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe
und Bergbau

nachrichtlich:
Landesamt für Umwelt, Messungen und
Naturschutz Baden-Württemberg
Postfach 10 01 63
70116 Stuttgart

Pyrite risk management procedures for the Stuttgart- Ulm project Decree Germany

RAPID soil implementation
on storage site

Soil implementation by
compacted layers

At the end of the soil implementation,
a cohesive waterproofing layer is
positioned at the top
(layer without pyrite)

Monitoring /controled quality :
granulometry after compaction, proctor
density reached,
the water permeability measurement,
sulfate analysis on lixiviat

Evaluation du risque pyrite par calcul de charge

Sols cohérents contenant des pyrites (Limon de 30 à 100% et argile de 20 à 50%) avec des coefficients de perméabilité de 10^{-9} m/s

Faibles charges en sulfate dans les eaux d'après le calcul des charges selon Darcy

Respect des conditions
limites pour la mise en
place des matériaux selon
l'arrêté pyrite par
compactage par couche
de 40 à 50 cm

1. "Mise en place rapide, immédiatement après la production, c'est-à-dire sans stockage intermédiaire. La durée maximale de stockage à ciel ouvert dans la zone de l'entrée du tunnel ne doit pas dépasser une semaine ; si cela ne peut pas être garanti, un nouvel échantillonnage et un contrôle de la densité de mise en place doivent être effectués

2. pose compacte de l'ensemble du cubage, c'est-à-dire pas d'étalement sur une grande surface et pose en monozone,

3. pose par couches compactées selon les règles techniques généralement reconnues, afin de garantir une valeur $k_f < 10^{-9}$ m/s

4. évacuation correcte et planifiée des eaux de ruissellement par un profilage résistant à l'érosion et réalisé chaque jour ouvrable (avec une pente suffisante)

5. avant les grandes pauses d'exploitation ou à la fin du remblayage, mise en place d'une couche cohésive exempte de pyrite d'une étanchéité égale ou supérieure à celle du remblai ainsi que d'une épaisseur minimale de 80 cm en deux couches,

6. intégration des points de mesure des eaux souterraines existants dans un système de surveillance des eaux souterraines.

Assurance qualité selon le
décret sur les pyrites :
surveillance interne et
surveillance avec contrôle
externe documentées et
présentées à l'autorité
compétente

Surveillance interne :

- une identification des matériaux et une évaluation de la fragmentation, de l'homogénéité et la capacité technique de compactage afin d'obtenir le paramètre de mise en œuvre requis, à savoir la perméabilité à l'eau avec une valeur $k_f \leq 1 - 10^{-9}$ m/s,
- la détermination de la répartition granulométrique,
- la détermination de la perméabilité à l'eau, dans chaque cas dans une mesure telle qu'une qualité compatible avec la densité de Proctor/densité de pose, une perméabilité à l'eau en corrélation avec une valeur $k_f \leq 1 - 10^{-9}$ m/s peut être déterminée.

Contrôle externe en cours d'exploitation

- Constatation de la répartition des grains : tous les jours ouvrables,
- Constatation de la densité de Proctor : un jour de fonctionnement sur deux,
- Constatation de la perméabilité à l'eau qui y est corrélée : tous les 10 jours d'exploitation,
- Analyse du lixiviat (1 : 10) pour les sulfates : tous les 2 jours d'exploitation.

Contrôle indépendant interne et externe du remblayage sur le site de valorisation : vérification par une autosurveillance indépendante tous les 5000 t ou au moins 1fois/sem

Contrôle externe : contrôles inopinés des remblayages au moins toutes les 11 lignes ou tous les 10 000 t

The static test for pyrite soil management : the development of a « rapid » test for NP/AP calculation (NF P 18575)

Method UGE : use only a C/S analyzer + acid attack
for the **measurement of Stot, SO₄, sulfur, carbonate** :
3 (1) days for results : good accordance with COFRAC
lab



C/S analyzer
(before and after a acid attack
with boiling acid)

C/S analyzer
after sulfate extraction by
boiling acid attack
(idem NF P 1744-1)

NF EN 15875 standard

Threshold

	CaCO ₃ %	S ²⁻ %	NP	AP	NP/AP	Potentiel Generation Sufate mg/kg	Mathematical calculation non representative of what happens on site
Exemple							
Ech1	29,2	0,17	5,84	0,10625	55	5100	
Ech2	31,9	0,21	6,38	0,13125	49	6300	

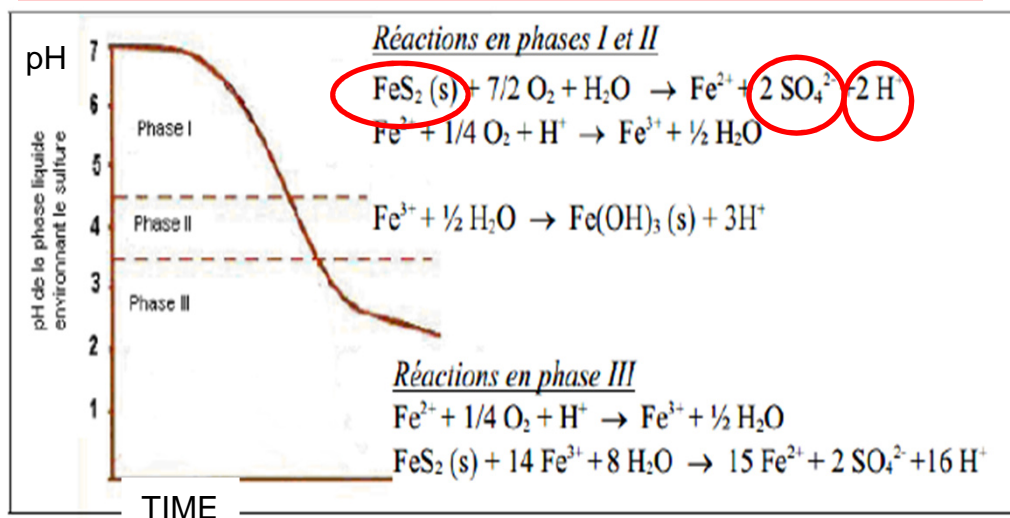
ISDI 1000

ISDI + 3000

TN / TN+
jusqu'à
19000-
22000

The kinetic test for a more realistic estimation of sulfur oxidation

The degradation of pyrite requires water and oxygen



Evolution during the drying or humidification period when soil is unsaturated (especially the wet/dry cycles)

After a certain number of cycles: **blocking of the pyrite oxidation process by PASSIVATION of the pyrite surface**

>>>> Difficult to assess the kinetics of this phenomenon on the storage site.

Kinetic test CEN/TR 16363

normalisation
française

FD CEN/TR 16363
6 Février 2013

Indice de classement : X 30-487

ICS : 13.030.01

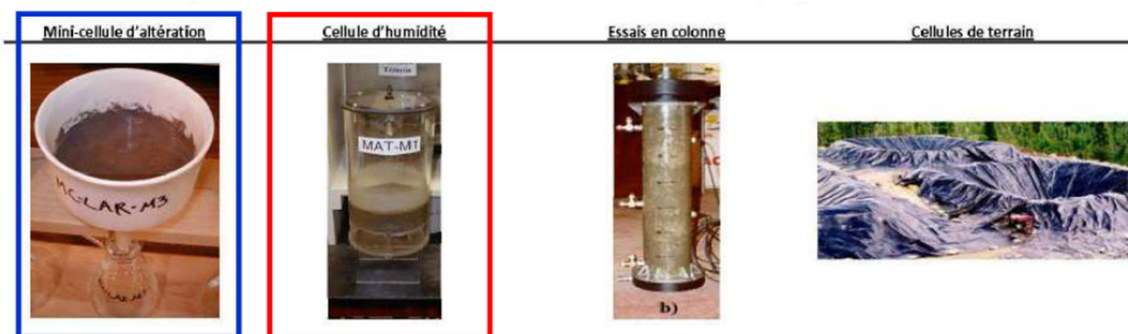
Caractérisation des déchets —
Essais cinétiques pour la détermination
du potentiel de génération d'acide des déchets
sulfurés des industries extractives

E : Characterization of waste — Kinetic testing for assessing acid
generation potential of sulfidic waste from extractive industries
D : Charakterisierung von Abfällen — Kinetische Prüfungen
zur Bestimmung des Säurebildungspotentials von sulfidhaltigen
Abfällen der mineralgewinnenden Industrie

Fascicule de documentation

publié par AFNOR

Procedure with well-controlled conditions: non usually applied
>> a simplified test as an alternative >> **variability in the protocol**

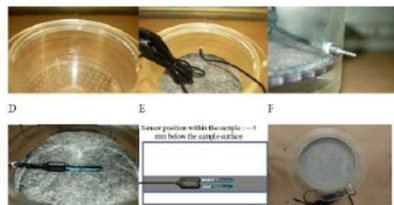


Test cinétique (CEN/TR 16363)
test en cellule humide (20 sem. au min)

- Test in column
- Simplified test in mini-cell for soil alteration (RH%, T°C non controlled)



Test d'humidité de cellule



Thèse Bouzahzah

Possibility of
various behaviors
among lab results !

A 30% maximum for the
conversion rate
of sulfur into sulfate ?

Example of kinetic test with mini-cell : the determination of conversion rate of sulfur into sulfate

50 ml of water added each
2/3 days followed by
pumping and air drying

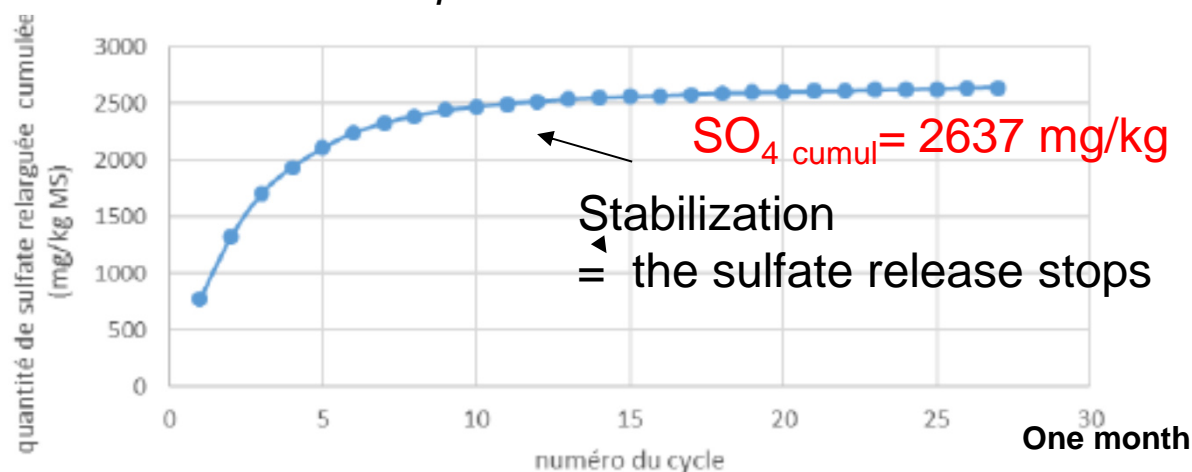
Mini-cellule d'altération



$[\text{SO}_4]$ max able to be released
= 3800 mg/kg

(Mathematical calculation
from sulfur content
>> 100% conversion)

Cumulated quantities of released sulfates



Conclusion : only 23% of sulfur were converted until the blocking of the oxidation process – close or lower than 30 %

Butduration variable until to reach a plateau
(for SGP > a test in 3 months)
Variation with the soil granulometry and the testing conditions

Conclusions : some limits and recommendations in pyritic soil management

1 - Geological expertise

- ✓ Case-by-case analysis: different management solutions depending on excavated soil geological characteristics,
- ✓ Protocol to be carried out only on acid-generating pyrite-rich lithologies, so as to remain proportionate to the issues (e.g. SGP identified the high-risk Ypresian formations after kinetic tests).

2 - Treatment techniques

- ✓ Sustainability of clay compaction in face to climate change? (drying and fissuring process)
- ✓ Limestone treatment: a carbonate quality is required, the mixing quality needs to be controlled, the quantity added often higher than $NP/AP = 4$ (for safety condition), What about the sulfate release after neutralization?
What about reclaiming excavated material in case of unfavorable results with the French procedure ?

3 - Measurement methods

- ✓ Static tests results : a rapid test is now able to give results in 1 day with only one apparatus
- ✓ No standard for kinetic test : some variable results between lab
test conditions considered as the most unfavourable conditions >> very safe conditions.

Thank you for your attention