UE Géoressources – Licence 2

Matériaux : de la carrière au recyclage

Granulats, minéraux industriels, construction, déchets et eaux usées

Compétences travaillées

À l'issue du TD, vous devrez être capable de :

- relier les principales matières premières minérales à leurs usages industriels ;
- raisonner sur la granulométrie, le volume exploitable et la durée de vie d'une carrière ;
- établir des bilans simples pour la chaux, le ciment et certains matériaux ;
- expliquer le rôle de la silice, des feldspaths, des argiles et du gypse dans les procédés industriels ;
- identifier les principaux impacts d'une carrière et proposer des mesures de réduction ;
- distinguer réemploi, recyclage, valorisation matière, valorisation énergétique et stockage ;
- établir des bilans simples pour une unité d'incinération, un centre de stockage et une station d'épuration.

Données et conventions

Les données numériques sont volontairement simplifiées et servent à des calculs d'ordre de grandeur.

- Réaction de calcination : $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$; masses molaires : $M(CaCO_3) = 100\,\text{g/mol}$, $M(CaO) = 56\,\text{g/mol}$, $M(CO_2) = 44\,\text{g/mol}$.
- 1 ha = $10\,000\,\text{m}^2$; 1 mm de pluie sur 1 m^2 correspond à 1 L.
- Pour l'exercice d'eaux usées : charge domestique conventionnelle retenue = 60 g de DBO_5 par équivalent-habitant et par jour ; consommation d'eau = 150 L par équivalent-habitant et par jour.

A. Culture générale et matières premières

1. Qui sert à quoi ? Associez chaque matière première à son usage dominant ou à une propriété déterminante.

Matière première	Usage / propriété	
Calcaire	**A**	Plâtre et plaques de plâtre
Gypse	**B**	Verre : constituant formateur du réseau
Silice / quartz	**C**	Chaux, ciment, granulats, charge minérale
Kaolin	**D**	Fondant en verrerie et en céramique
Bentonite	**E**	Céramique blanche, charge minérale ; grande pureté et blancheur recherchées
Feldspath	**F**	Argile gonflante : étanchéité, boues de forage, adsorption
Granulats	**G**	Bétons, couches routières, ballast, enrobés
Sel gemme	**H**	Industrie chimique, alimentation, déneigement

a) Pourquoi les granulats sont-ils généralement produits près des zones de consommation ?

b) Pourquoi une matière première très abondante peut-elle néanmoins devenir une ressource industrielle recherchée ?

c) Donnez deux exemples où la **pureté**, la **couleur** ou la **granulométrie** sont aussi importantes que la quantité disponible.

2. Granulométrie d'un granulat de carrière. Après concassage et criblage, on obtient la courbe cumulée suivante :

Tamis (mm)	31,5	20	10	4	2	0,063
Passant cumulé (%)	100	86	58	32	18	3

a) Quelle fraction massique est supérieure à 20 mm ? comprise entre 4 et 20 mm ? inférieure à 4 mm ?

b) Sur un lot de 1 200 t, calculez les masses correspondantes.

c) Pourquoi le contrôle granulométrique est-il essentiel pour un béton ou une couche routière ?

3. Évaluer une ressource de carrière. Une carrière de roche massive peut exploiter une surface de 12 ha sur une épaisseur moyenne de 18 m. La masse volumique de la roche est $\rho = 2{,}4\,\mathrm{t/m^3}$. On estime que 12 % du volume correspond à des stériles ou zones non exploitables. Le rendement de préparation (concassage, criblage, lavage) est de 92 %.

a) Calculez le volume géologique, puis la masse brute de roche.

b) Calculez la masse de matériau commercialisable.

c) Pour une production de 250 000 t/a, estimez la durée de vie théorique de la carrière.

d) Expliquez pourquoi cette durée n'est pas forcément la durée réelle d'exploitation.

B. De la roche au matériau

4. Du calcaire à la chaux et au ciment.

a) À partir de l'équation de calcination, calculez la masse théorique de CaO et de CO_2 produite par la calcination de 1 t de $CaCO_3$ pur.

b) Un calcaire contient 85 % de $CaCO_3$. Quelle masse minimale de CO_2 de procédé est libérée lors de la calcination de 1,5 t de ce calcaire ?

c) Pourquoi les émissions du ciment ne proviennent-elles pas uniquement du combustible utilisé dans le four ?

d) Citez deux leviers permettant de réduire l'usage de matière première vierge ou l'empreinte d'un ciment.

5. Verre, plâtre et céramiques : raisonner à partir des propriétés.

a) Dans un verre sodocalcique, quel est le rôle général de la silice ? Pourquoi ajoute-t-on des fondants ?

b) Le gypse est chauffé pour fabriquer le plâtre puis réhydraté lors de la mise en oeuvre. Pourquoi ce comportement est-il utile industriellement ?

c) Pourquoi les feldspaths sont-ils recherchés en verrerie et en céramique ?

d) Comparez brièvement kaolin et bentonite : pourquoi leurs usages industriels diffèrent-ils alors qu'il s'agit dans les deux cas de matériaux argileux ?

6. Choisir entre deux carrières. Deux sources peuvent fournir un chantier nécessitant 50 000 t de granulats.

	Prix départ carrière	Distance	Coût transport
Carrière A	8 €/t	25 km	0,12 €/(t km)
Carrière B	5 €/t	80 km	0,12 €/(t km)

a) Calculez le coût livré par tonne puis le coût total pour chaque solution.

b) Quelle carrière est économiquement préférable dans ce modèle ?

c) Citez au moins quatre autres critères à considérer avant de choisir un site d'approvisionnement.

C. Déchets, recyclage et eaux usées

7. Incinération et résidus. Dans le schéma simplifié du cours, 1 000 kg d'ordures ménagères donnent environ 270 kg de mâchefers et 30 kg de résidus d'épuration des fumées (REFIOM), le reste étant associé aux fumées épurées et aux transformations du procédé.

a) Calculez les proportions massiques de mâchefers et de REFIOM par rapport à la masse initiale de déchets.

b) Pour une unité recevant 50 000 t/a de déchets, calculez les masses annuelles correspondantes.

c) Pourquoi mâchefers et REFIOM ne sont-ils pas gérés de la même façon ?

d) Distinguez valorisation énergétique et valorisation matière.

8. Centre de stockage et lixiviats. Une installation de stockage couvre 4 ha. La pluie annuelle est de 800 mm. Avant couverture finale, 65 % de la pluie atteint les déchets sous forme d'infiltration nette. Après mise en place d'une couverture et d'un drainage efficaces, seulement 10 % de la pluie atteint les déchets.

a) Estimez le volume annuel de lixiviat avant puis après couverture.

b) Calculez le pourcentage de réduction.

c) Expliquez le rôle d'une géomembrane, d'un drainage de fond, de la collecte du biogaz et du suivi des eaux souterraines.

d) Pourquoi une ancienne décharge non étanchée peut-elle contaminer une nappe longtemps après l'arrêt des dépôts ?

9. Traitement d'eaux usées domestiques. Une station reçoit les eaux de 12 000 équivalents-habitants. On retient 150 L/d par habitant et une charge de DBO_5 de 60 g/d par habitant. Le traitement primaire élimine 30 % de la DBO_5 ; le traitement biologique élimine ensuite 90 % de la charge restante.

a) Calculez le débit journalier d'eaux usées et la charge initiale de DBO_5.

b) Calculez la charge après décantation primaire, puis après traitement biologique.

c) Quelle est la concentration finale en DBO_5 en mg/L ? Quel est le rendement global d'élimination ?

d) Replacez dans l'ordre : dégrillage, décantation primaire, bassin biologique aéré, clarificateur secondaire, rejet ou traitement tertiaire.

e) Que deviennent les boues ? Donnez deux voies possibles de traitement ou de valorisation.

10. Recycler les matériaux de construction. Une opération de démolition produit 20 000 t de déchets. Les bétons et maçonneries représentent 75 % du total. Parmi eux, 80 % sont correctement triés et 90 % de la masse triée devient un granulat recyclé utilisable.

a) Calculez la masse de granulats recyclés produite.

b) Un chantier routier voisin a besoin de 15 000 t de granulats. Quelle fraction de ce besoin peut être couverte ?

c) Citez trois limites possibles au recyclage des matériaux minéraux.

Question de synthèse

En dix lignes maximum, expliquez pourquoi les matériaux de carrière et les minéraux industriels sont des **géoressources stratégiques du quotidien** bien qu'ils soient souvent moins visibles que les métaux ou les hydrocarbures. Votre réponse doit faire intervenir au moins quatre des notions suivantes : propriétés, qualité, transport, énergie de transformation, impacts, déchets, réemploi, recyclage, ressource locale.