

# Décharges et déchets de chantier



Décharge de Châtillon types D-E Fribourg, photo J.-C. Balmer

## Intervenant du jour

**Sébastien Paratte**

[s.paratte@csd.ch](mailto:s.paratte@csd.ch)

Resp. de département «Déchets & Dépollution / Géologie de l'environnement» chez CSD Ingénieurs à Fribourg

Ingénieur env. dipl. EPFL 2002, travail de diplôme au Laboratoire de Biotechnologie Environnementale EPFL

### Spécialités :

- Etudes et assainissement de sites pollués/contaminés (air, sols et eaux)
- Conception, appels d'offres, direction des travaux et suivi de décharges
- Gestion des déchets
- Gestion des eaux (études hydrauliques et hydrologiques, traitement)

## Plan du cours

- Introduction
  - Concepts de base, utilité et bases légales
- Décharges
  - Types de décharges en Suisse
  - Planification et implantation
  - Construction – aspects techniques
  - Exploitation et surveillance
  - Gestion après fermeture
- Déchets de chantier
  - Catégorie de déchets de chantier
  - Déchets de chantier acceptés en décharge
  - Valorisation des déchets de chantier



## Intro – Décharge : définition

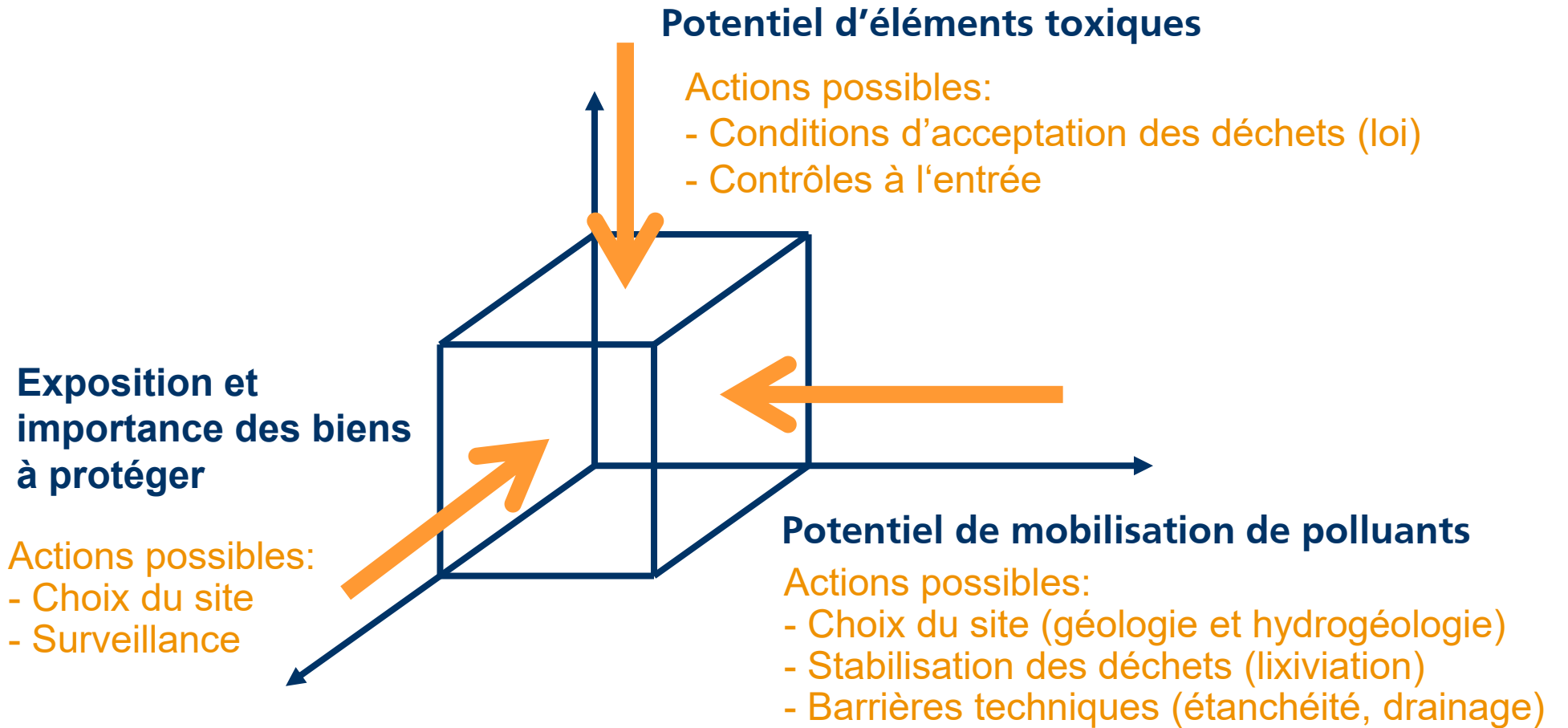
Larousse: emplacement où sont déposés les décombres et les immondices.

Décharge contrôlée : installation de traitement des déchets où des déchets sont stockés définitivement et sous surveillance

*Surveillance à long terme*: un «cadeau» pour les générations futures !

La décharge reste le moyen de «traitement» le plus utilisé dans le monde.

**Risque = volume dépendant de 3 axes**



**Sécurité = conditions cumulatives, barrières multiples**➤ **Qualité des déchets**

Conditions d'acceptation restrictives

- Type, composition, état, radioactivité, bas potentiel de dilution, ....

→ Analyses chimiques , test de lixiviation (définis par législation)

➤ **Barrières techniques**

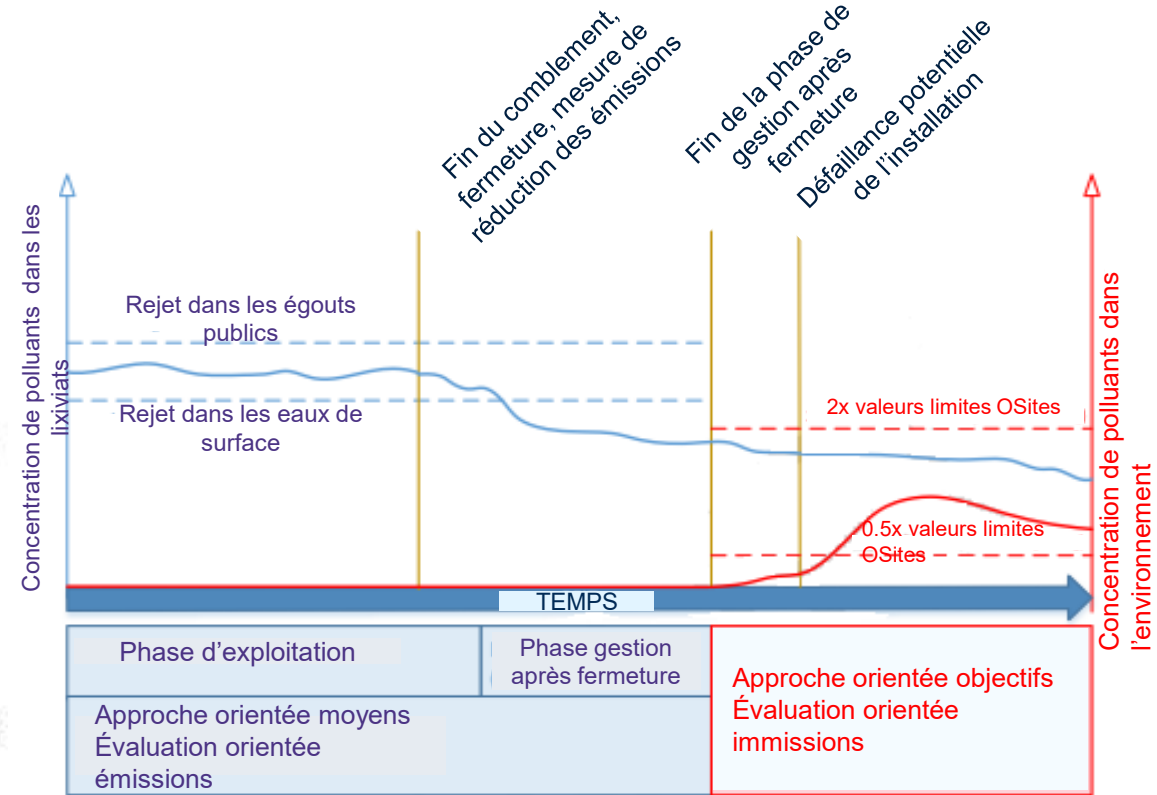
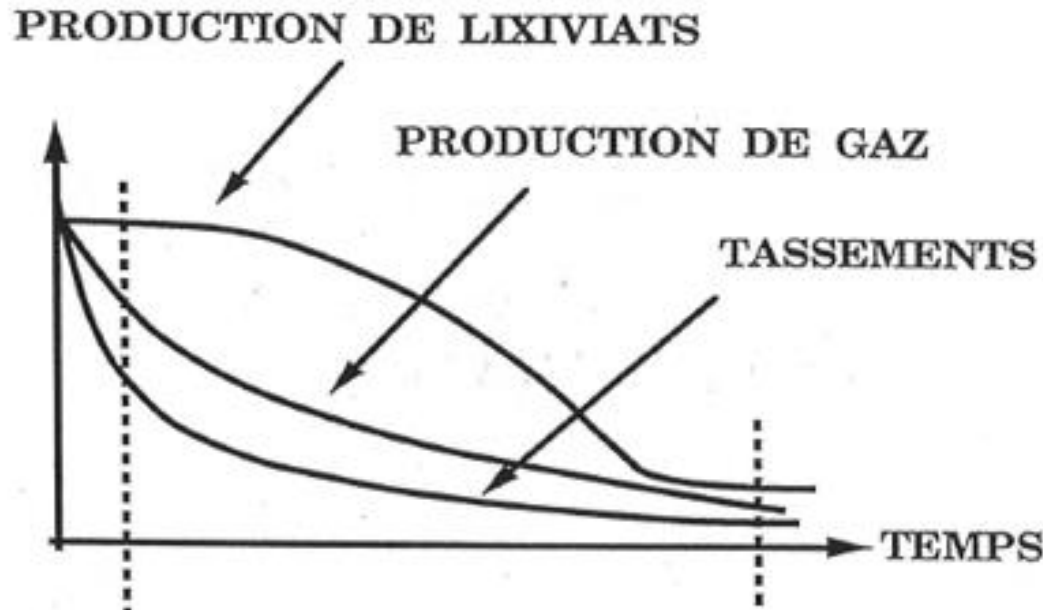
Couches d'étanchéité, drainages

➤ **Barrières géologiques → choix d'un site peu sensible**

Sous-sol très peu perméable, pas d'eau souterraine de valeur

→ Surveillance des eaux souterraines





Source : OFEV 2020 (adaptation libre)

A long terme, les émissions diminuent mais l'atteinte à l'environnement peut augmenter avec le temps

- Emissions dans les eaux de surface: **très long terme**
- Emissions dans les eaux souterraines : **très long terme**
- Emissions dans l'air: poussières, (fumées, envol) : **nuisances potentielles élevées, court terme**
- Emissions dans l'air: gaz, CH<sub>4</sub> (effet serre), CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, odeurs (H<sub>2</sub>S) : **nuisances potentielles élevées, court et moyen terme (20-30 ans)**
- Tassements et utilisation du sol : **moyen et long terme**
- Effets visuels, vermine, animaux : **court terme**

**Chaque situation est particulière et nécessite des solutions spécifiques, optimales et économiques: c'est le travail de l'ingénieur !  
(il n'y a pas que les géotextiles, attention aux vendeurs !!)**

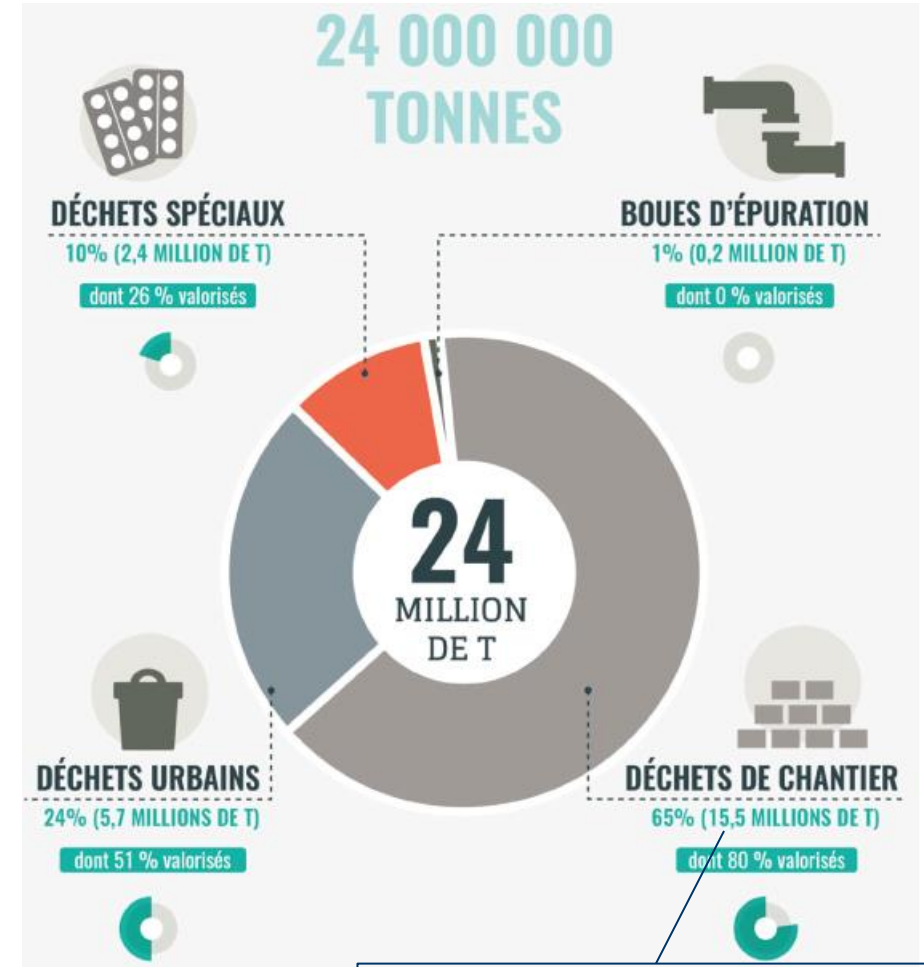
# Intro : Pourquoi a-t-on besoin des décharges ?

- Déchets de condensateurs (concentrations très élevées en PCB) dans la Sarine, à l'aval de l'ancienne décharge de la Pila



## Intro : Pourquoi a-t-on besoin des décharges ?

- **Déchets produits en Suisse**
  - ~80 - 90 millions to/an
  - dont ~ 15 mios déchets de chantier et ~ 60 mios to/an matériaux excavation et percement issus des chantiers
- **Déchets urbains ~ 2 kg/(j\*hab)**
- **Les chantiers génèrent ~ 25 kg/(j\*hab) !**



Sources : OFEV 2016, 2018

Les exigences pour la planification, la réalisation, l'exploitation et la fermeture des décharges sont organisées de la manière suivantes:

Confédération	→ Lois, ordonnances, aides à l'exécution et directives fédérales
Cantons	→ Lois et ordonnances cantonales, plans directeurs et sectoriels
Communes	→ Prescriptions, règlements, plans d'aménagement locaux
Associations professionnelles	→ Recommandations, directives, normes, notices,...
Exploitations	→ Règlements d'exploitation, cahiers des charges,...

Loi sur la Protection de  
l'Environnement (LPE)

Loi sur l'Aménagement du  
Territoire (LAT)

Loi sur la protection des Eaux  
(LEaux)

Ordonnance sur la Limitation  
et l'Élimination des déchets  
(OLED)

Ordonnance sur les  
Mouvements de Déchets  
(OMoD)

Ordonnance relative à la taxe  
pour l'assainissement des  
sites contaminés (OTAS)

Ordonnance sur  
l'assainissement des Sites  
pollués (OSites)

Ordonnance sur la protection  
des eaux (OEaux)

Ordonnance sur les atteintes  
portées aux sols (OSol)

## Intro : Bases légales en Suisse

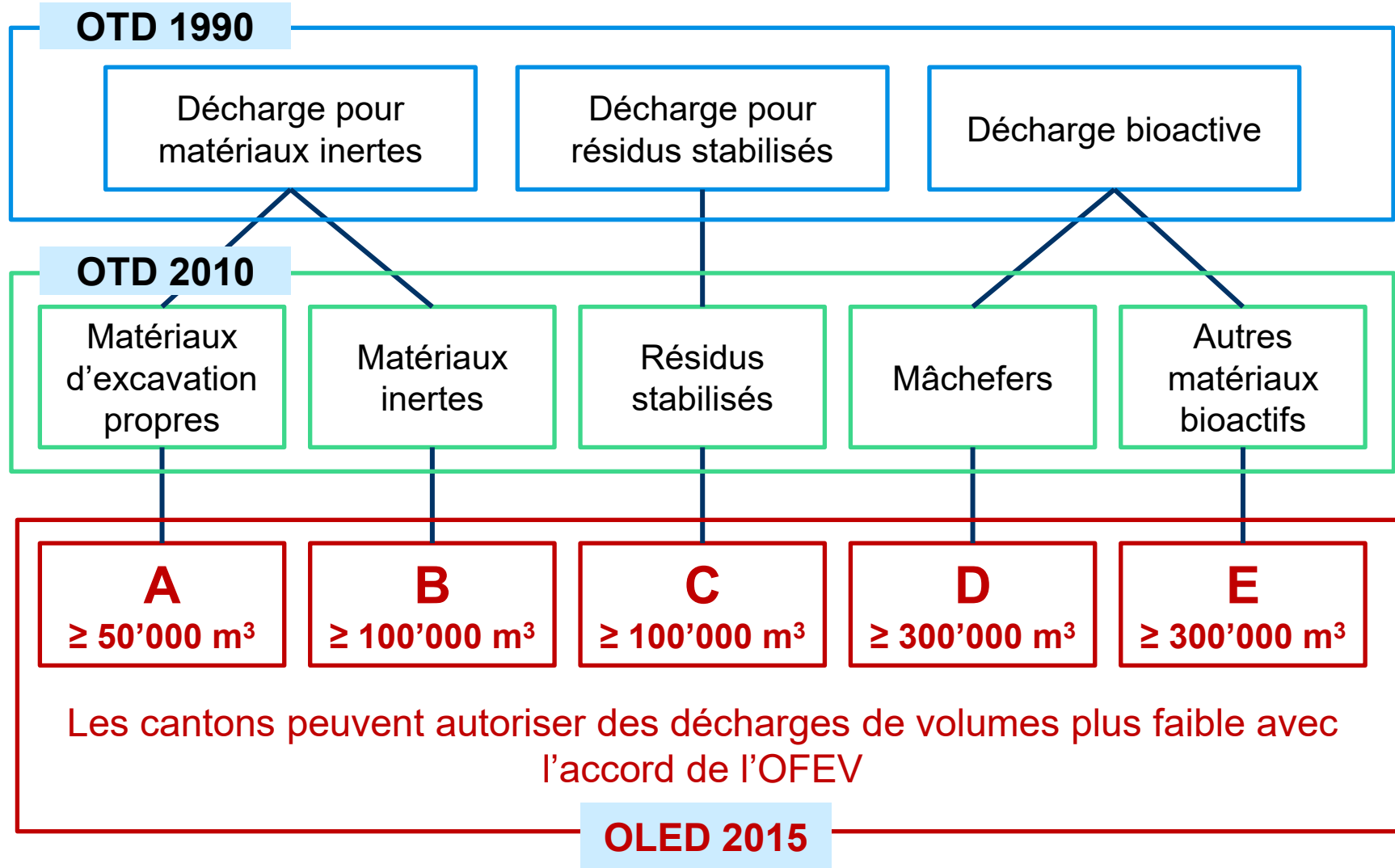
### Ordonnance sur la Limitation et l'Élimination des Déchets (OLED)

- En vigueur depuis décembre 2015, en remplacement de l'ancienne Ordonnance sur le Traitement des Déchets (OTD)
- Particulièrement importante pour la planification, la construction, l'exploitation et la fermeture de décharges
- Objectif: Élimination des déchets en Suisse de manière durable, Mise en œuvre de l'obligation de valoriser les déchets autant que possible
- Objectif: Protéger les humains, la faune et la flore, les habitats que sont les eaux, le sol et l'air des atteintes nuisibles ou incommodes causées par les déchets
- Les Cantons sont responsables de l'application de la loi

## Principes directeurs pour la gestion des déchets et des ressources 2030

	<p><b>1. L'économie et la société agissent de manière responsable et volontaire.</b></p> <p>Dans le sens de la responsabilité individuelle, l'économie et la société s'engagent pour une utilisation parcimonieuse des ressources.</p> <p>L'État agit subtilement dans la gestion des déchets et se charge exclusivement des tâches que les privés ne sont pas à même de réaliser aussi bien et efficacement.</p> <p>Si des interventions de l'État sont néanmoins nécessaires dans la gestion des déchets et des ressources en Suisse, alors ses interventions doivent être décidées sur la base de critères clairs et vérifiables. L'État observe de manière prioritaire le développement, intervient si nécessaire dans un rôle de coordinateur ou modérateur et veille à garantir avec des moyens appropriés la sécurité de la valorisation ou de l'élimination des déchets.</p>	<p><b>2. Le marché de la valorisation des déchets doit s'orienter vers une concurrence loyale entre les différents acteurs.</b></p> <p>Des conditions-cadres identiques et fiables valent pour tous les acteurs du marché, privés ou étatiques.</p> <p>Les processus de valorisation indépendants sont garantis à tout moment malgré la variabilité des prix des matières premières.</p> <p>L'État crée, lorsque cela est nécessaire, les conditions garantissant l'intégration des déchets non valorisables dans le respect de l'environnement.</p>	<p><b>3. La production de déchets est évitée autant que possible.</b></p> <p>Un découplage entre la quantité de déchets et la croissance du PIB est visé.</p> <p>Les innovations négatives conduisant à des déchets évitables, sont encouragées.</p> <p>La réduction de la production de déchets ne doit pas conduire à une augmentation de l'impact global sur l'environnement.</p>
<p><b>4. Les matières premières circulent de façon optimale en circuits fermés.</b></p> <p>L'optimisation de l'économie circulaire s'appuie en priorité sur la coopération étroite de tous les acteurs impliqués.</p> <p>Les substances polluantes sont retirées du cycle de matière.</p> <p>Si le cycle ne peut pas être fermé, une utilisation en cascade doit être visée.</p> <p>Le développement de produit dans le sens d'une conception écologique est un facteur clé pour une économie circulaire optimale.</p>	<p><b>5. Les producteurs, consommateurs et autres acteurs sont responsables des impacts sur l'environnement des produits tout au long de leur cycle de vie.</b></p> <p>Chaque participant assume la responsabilité pour son domaine dans le cycle de vie d'un produit, ce qui suppose une bonne coordination.</p> <p>Les producteurs font tout leur possible pour que leurs produits puissent être durablement valorisés ou déposés en décharge. Les informations correspondantes et requises sont à mettre à disposition du commerce de détail et des consommateurs. Lorsque cela est opportun, des systèmes de recyclage assurent une valorisation optimale.</p> <p>Pour les flux matériels pertinents peuvent être fermés en cycle, on examine l'opportunité de solutions de branche facultatives.</p> <p>Les consommateurs sont responsables de la bonne utilisation, gestion et élimination des produits.</p>	<p><b>6. Les matières premières primaires et secondaires sont exploitées en Suisse de façon durable.</b></p> <p>Les matériaux de déconstruction sont traités et réintroduits dans le cycle économique. Des matériaux de construction nouveaux conformes aux normes sont produits aussi bien à partir de sources primaires que secondaires.</p> <p>De manière générale, l'utilisation de matière première secondaire est favorisée par rapport à l'utilisation de matière première primaire, ceci pour autant que cette préférence aille dans le sens d'une durabilité accrue.</p> <p>Les normes de construction favorisent le mix en œuvre de proportions aussi élevées que possible de matériaux de construction secondaires dans les produits de construction.</p> <p>En tant que maître d'ouvrage, le pouvoir public encourage l'utilisation des matériaux de construction secondaires.</p>	<p><b>7. Les mesures visant à éviter et surtout à valoriser les déchets sont priorisées sur la base de leur efficacité et efficacité économiques et écologiques.</b></p> <p>Conçues occasionnellement des coûts économiques, les nouvelles mesures sont introduites en priorité là où elles entraînent un effet écologique maximal pour un coût minimal.</p> <p>Les mesures déjà mises en œuvre sont examinées périodiquement quant à leur efficacité et efficacité et adaptées le cas échéant.</p> <p>Le recyclage se fonde sur la recherche d'un optimum écologique et économique, et non pas sur des taux de recyclage.</p>
<p><b>8. La transparence au niveau des flux de matières et des flux financiers constitue la base de toute optimisation des systèmes de gestion des déchets.</b></p> <p>Le financement a lieu selon le principe de couverture des frais par le pollueur/bénéficiaire.</p> <p>Les taxes de financement et les taxes d'incitation sont indiquées séparément.</p> <p>Les systèmes de systèmes financiers par des taxes s'engagent à évaluer leurs flux de matières et flux financiers.</p>	<p><b>9. Des standards élevés sont respectés dans le cadre de la valorisation et du traitement des déchets.</b></p> <p>La valorisation et le traitement des déchets s'appuient en minimisant les effets négatifs et inopportuns.</p> <p>La poursuite du développement continu des systèmes de gestion s'appuie conformément à l'état de la technique reconnu dans la branche.</p> <p>Lors de l'élimination de déchets usés à l'étranger, il convient de respecter des standards comparables à ceux en vigueur en Suisse.</p> <p>La valorisation énergétique des déchets doit s'appuyer en priorité en Suisse.</p>	<p><b>10. La conception et le développement des systèmes de gestion des déchets visent à optimiser les coûts, les bénéfices pour l'environnement et la satisfaction du client.</b></p> <p>Les systèmes de gestion des déchets sont conçus de sorte à assurer une valorisation écologique d'une grande partie des déchets à un coût acceptable.</p> <p>Les systèmes de gestion sont conçus dans toute la Suisse de sorte à être facilement compréhensibles et pratiques pour le remettant des déchets.</p> <p>Les systèmes de gestion de déchets sont harmonisés. Au besoin, les régions limitrophes des pays voisins sont prises en compte dans la perspective d'harmonisation.</p> <p>Les facteurs de succès importants pour un bon fonctionnement des systèmes de gestion des déchets sont la communication, l'information et la sensibilisation.</p>	<p><b>11. Grâce à l'innovation et aux technologies de pointe, l'approche suisse de la gestion des déchets et des ressources a un effet de levier important sur le plan international.</b></p> <p>La Suisse apporte les technologies développées en matière de gestion des déchets et des ressources.</p> <p>Les concepts, le savoir-faire et les technologies suisses de gestion des déchets et des ressources contribuent à apporter des solutions face aux défis globaux.</p> <p>L'État s'engage pour des conditions-cadres propices à la réalisation de projets pilotes innovants.</p>

# Décharges : types de décharges en CH



- Critères et valeurs limites: OLED, Annexe 3 ch. 1 et Annexe 5 ch. 1
- Types de déchets acceptés:
  - Matériaux de percement et d'excavation non pollués
  - Boues de lavage des graviers
  - Horizon A du sol (terre végétale)
  - Horizon B du sol
  - Matériaux de charriage



Source : Beurteilung von unverschmutztem Aushub (KVU Ost 2015)

## Décharge de type B (anciennement inerte)

- Critères et valeurs limites: OLED, Annexe 5 ch. 2
    - Matériaux d'excavation « faiblement pollués »
  - Types de déchets acceptés:
    - Tous les déchets acceptés en décharge de type A
    - Matériaux inertes (verre plat, céramique, tuiles, etc.)
    - Déchets de chantier minéraux
    - Matériaux bitumeux de démolition (HAP<250 ppm)
    - Fibres d'amiante liées
    - Matériaux composés à au moins 95% de pierres et d'éléments analogues !
- Les fractions qui peuvent faire l'objet d'une valorisation matière doivent être récupérées au préalable

## Décharge de type B (anciennement inerte)



# Décharge de type B (anciennement inerte)



## Décharge de type C (résidus stabilisés)

- Critères et valeurs limites: OLED, Annexe 5 ch. 3
- Types de déchets acceptés:
  - De manière générale: les déchets sont conditionnés sous une forme empêchant toute libération de polluants de manière durable
  - Résidus de traitement de fumées
  - Résidus de traitement d'eaux usées d'UIOM
  - Déchets métallifères et difficilement solubles



Source : Google maps

## Décharge de type C (résidus stabilisés)

- Mise en place des résidus stabilisés (décharge de Teuftal BE)



## Décharge de type D (mâchefers)

- Critères et valeurs limites: OLED, Annexe 5 ch. 4
- Types de déchets acceptés:
  - Mâchefers et cendres d'UIOM, de traitement de déchets spéciaux, d'incinération de boues de STEP, etc.
  - Verres d'écran
  - Résidus vitrifiés
  - Matériaux minéraux issus de buttes pare-balles



## Décharge de type E (anciennement bioactive)

- Critères et valeurs limites: OLED, Annexe 5 ch. 5
  - Matériaux d'excavation « pollués »
- Types de déchets acceptés:
  - Déchets de crues et d'incendies
  - Résidus de dessablage et de curage de canalisations après traitement
  - Matériaux contenant de l'amiante faiblement aggloméré
  - Fraction fine issue du traitement des déchets de construction minéraux (PCB , HAP !)



## Décharge de type E (anciennement bioactive)

En 2012, après 2.5 ans, l'EPFL a dû changer la totalité du sol extérieur de son bâtiment emblématique, le Learning Center, en raison d'un mauvais choix de matériau et de technique. [EPFL: Des travaux à plus d'un million au Learning Center - Le Matin](#)

Revêtement stocké en décharge de type E (Châtillon Fribourg) en raison de la constitution du déchet (composite résine + minéraux)



## Décharges : critères d'admission des déchets

- Contrôle des déchets livrés à l'installation: seuls les déchets autorisés doivent être acceptés
- Documentation des quantités de déchets réceptionnées et de leur origine
- Mise à disposition de ces informations aux autorités dans le rapport d'exploitation annuel



Source : Gramme service

- **Situation réelle**
  - Remblayage = mélange de déchets
  - évolution de la décharge dans le temps (y.c. après fermeture)



En cas de pollution, difficile, voire impossible de retracer avec certitude l'origine des déchets sources => agir à l'amont

- Exemple de valeurs limites

Stockage définitif en décharge Critères selon		Valeurs limites maximales		
		Type A OLED An 5, ch. 1 OLED An 3, ch. 1	Type B OLED An. 5, ch. 2	Type E OLED An 5, ch. 5
paramètres (extrait)	unité			
Antimoine	mg/kg	3	30	50
Arsenic	mg/kg	15	30	50
Plomb	mg/kg	50	500	2000
Cadmium	mg/kg	1	10	10
Cyanure total	mg/kg	0.5	-	-
Hydrocarbures chlorés volatils	mg/kg	0.1	1	5
PCB	mg/kg	0.1	1	10
HC C5-C10	mg/kg	1	10	100
HC C10-C40	mg/kg	50	500	5000

## Décharges : question

### Types de décharges et qualité des déchets

- Est-ce que les matériaux suivants peuvent être mis en décharge en Suisse ?
  - Déchets urbains
  - Bois de démolition
  - Déchets de chantier

# Décharges : implantation

## Critères légaux (OLED, annexe 2)

(1)

### Protection des eaux et dangers naturels

- **Eaux souterraines**
  - Hors zone ou périmètre de protection des eaux souterraines
  - B, C, D, E : pas au-dessus d'eaux souterraines exploitables
  - A: au moins 2 m au-dessus d'eaux souterraines exploitables
- Hors des zones exposées à des **risques naturels**
  - d'inondation
  - de chutes de pierres
  - glissements
  - d'érosion
- **Stabilité du sol:**
  - Garantir la stabilité à long terme,
  - Exclure tout mouvement de terrain risquant notamment de compromettre le bon fonctionnement

# Décharges : implantation

## Critères légaux (OLED, annexe 2)

(2)

- **Qualité du sous-sol**
  - l'épaisseur, la capacité de rétention des polluants et l'homogénéité du sous-sol et des environs doivent garantir une protection à long terme des eaux souterraines, au besoin en recourant à des mesures techniques pour en améliorer l'efficacité.
  - Exigences minimales **Décharges type C, D, E:**
    - **Barrière géologique naturelle de 7 m «en grande partie homogène» avec k (Darcy) moyen  $\leq 1 \cdot 10^{-7}$  m/s, ou**
    - **Barrière géologique naturelle de 2 m «en grande partie homogène» avec k (Darcy) moyen  $\leq 1 \cdot 10^{-7}$  m/s, complété par 3 couches homogènes (total 60 cm) avec k (Darcy) moyen  $\leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s**

# Décharges : implantation

## Autres critères d'acceptation: environnement

- Valeur des milieux naturels
  - Proximité de zones protégées
  - Rareté et diversité de la flore, de la faune,... (relevés nécessaires)
- Nuisances directes :
  - Bruit d'exploitation
  - Trafic
  - Odeurs
  - Poussières, etc.

# Décharges : implantation

## Critères économiques (1)

- **Distance au centre de gravité de production:**
  - coûts des transports
- **Présence locale de matériaux d'étanchéité et de drainages**
  - très importants volumes nécessaires
- **Possibilité de réutiliser les matériaux d'excavation**
  - Gros volumes (s'il y a excavation)
- **Géométrie du site / du projet**
  - Éléments coûteux : fond et couverture
  - Hauteur utile importante → coûts et infiltrations minimisées !

# Décharges : implantation

## Critères économiques (2)

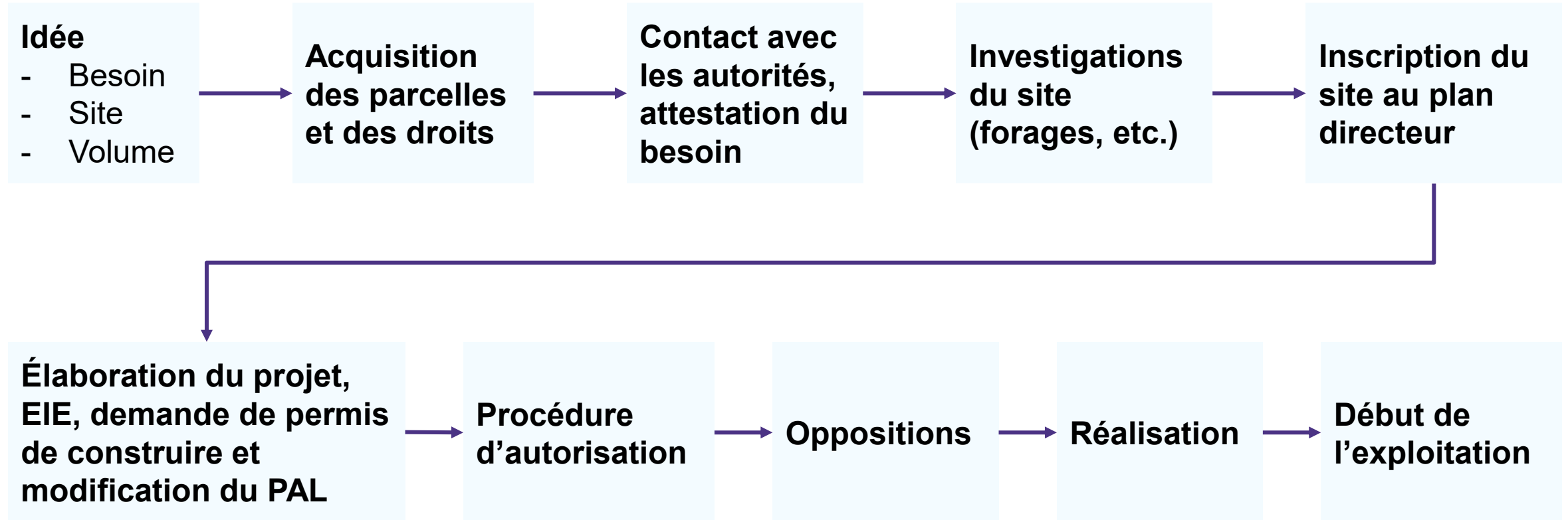
- **Évacuation gravitaire (légal) / traitement des eaux**
  - Coût augmentent rapidement avec la distance
- **Infrastructures disponibles**
  - Routes, rail
  - Énergie, eau potable, etc.
- **Conditions de propriété**
  - coûts du terrain (achat, location)
  - servitudes
  - conventions avec les propriétaires (morcellement)
  - utilisation après fermeture

# Décharges : implantation

## Forme de la décharge

- Décharge **remplissant une dépression**
- Décharge **en dôme**
- Décharge **en pente**
- Décharge **souterraine**

- Etapes du processus de planification et d'autorisation (durée en années)



# Décharges : implantation

## Conformité du site

- Est-ce que les situations de sites de décharges suivantes correspondent à la loi Suisse?
  - Site situé en périmètre de protection des eaux
  - Situation en vallon avec une station de pompage des eaux de drainage (lixiviats) au pied de la décharge
  - Situation en plaine avec une géométrie finale en forme de colline

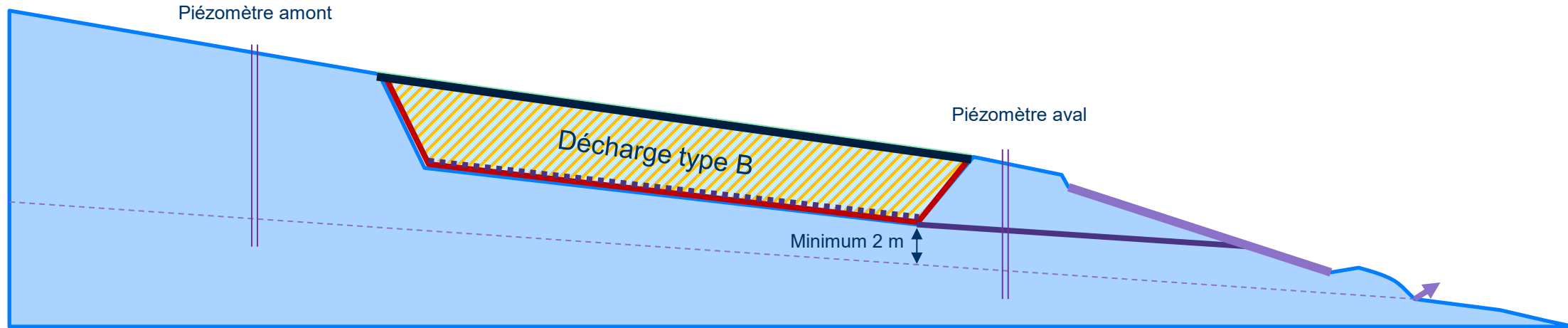
## Décharges : aspects techniques

- **Exigences constructives selon l'OLED**
  - Site de la décharge: Aménagement du territoire, géologie, hydrogéologie, dangers naturels
  - Ouvrages constructifs de la décharge (caractéristiques techniques)
  - Volumes minimaux
  - Devoir de surveillance
  - Projet de fermeture de la décharge et gestion post-exploitation
  - Caractéristiques et valeurs limites de polluants des types de déchets utilisables comme matériaux de constructions





## Décharges : aspects techniques

- **Principes de conception et de construction**






- Les décharges doivent être conçues et réalisées selon «l'état de la technique» (Norme SIA 203, Aide à l'exécution de l'OLED)
- Aucune atteinte nuisible ou incommodante des déchets sur l'environnement ne doit être perceptible
- Le contenu de la décharge doit rester chimiquement et biologiquement stable
- Les lixiviats doivent remplir les exigences de l'OEaux
- La base et le corps de la décharge doivent être et rester stables
- Si une décharge contient des compartiments de plusieurs types, des séparations entre les compartiments sont nécessaires



### Éléments naturels

-  Sous-sol
-  Niveau maximum décennal de la nappe phréatique
-  Cours d'eau
-  Source

### Ouvrages de la décharge

-  Corps de la décharge
-  Couverture végétalisée
-  Étanchéité minérale
-  Drains et conduites de captage et d'évacuation des lixiviats
- 

# Décharges : aspects techniques – étanchéité de fond

**But: éviter transferts eau (polluants!) vers le sol**

**Pour les décharges C, D, E, en plus de la barrière d'étanchéité naturelle ou complétée :**

## Étanchéité minérale

- **Épaisseur min 80 cm, Perméabilité :  $k \leq 10^{-9}$  m/s**
- **Min. 3 couches**

## Étanchéité bitumineuse (béton bitumineux)

- **Couche fondation. Épaisseur min 7 cm, Indice de vide  $< 3\%$**

## Feuilles en matière synthétique (plastique PEHD – Polyéthylène à haute densité)

- **Épaisseur min. 2.5 mm sur une étanchéité minérale de 50 cm min.  $k \leq 10^{-9}$  m/s**

## *Autres types d'étanchéification*

- **Prouver une efficacité au moins équivalente aux autres...**

## Décharges : aspects techniques – étanchéité de fond

- **Pose d'une étanchéité minérale en trois couches homogènes sur le fond d'un décharges de type B**



Source : CSD Ingénieurs SA

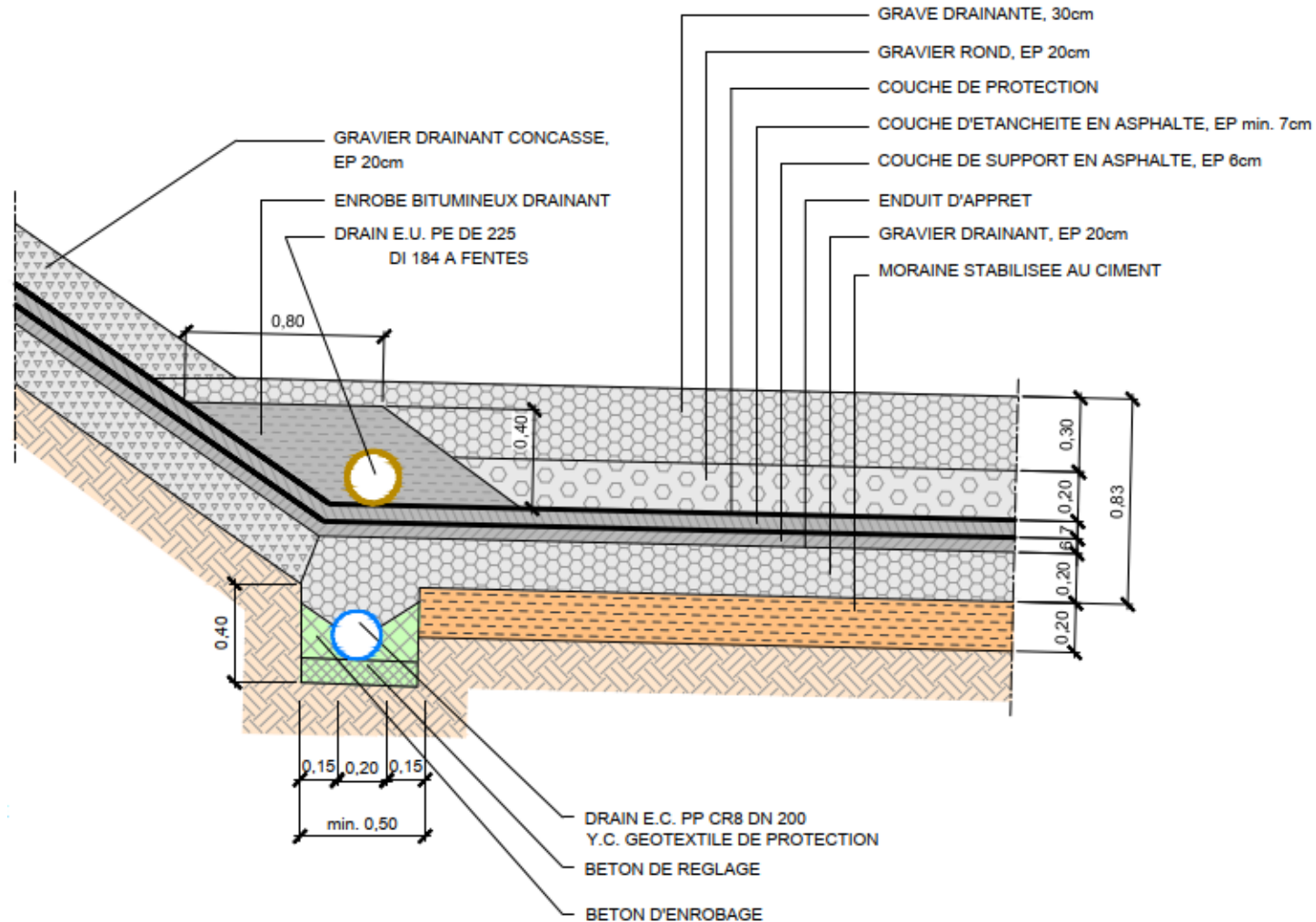
## Décharges : aspects techniques – étanchéité de fond

- **Contrôles de la qualité (stabilité, portance du sous sol), évent. stabilisations**



Sources : CSD Ingénieurs SA

## COUPE "F-F" 1:20 ETANCHEITE ET DRAINAGES EN PIED DE TALUS



- Mise en œuvre d'une étanchéité bitumineuse sur la décharge de Châtillon FR

## Décharges : aspects techniques – étanchéité de fond

- Mise en œuvre d'une étanchéité bitumineuse sur la décharge de Châtillon FR



## Décharges : aspects techniques – étanchéité de fond

- Mise en œuvre d'une étanchéité bitumineuse sur la décharge de Châtillon FR





# Décharges : aspects techniques – fermeture de surface

## Couverture finale

- **Buts:**

- Limiter les infiltrations d'eau
- Limiter les émissions de gaz
- Permettre une réutilisation de la surface

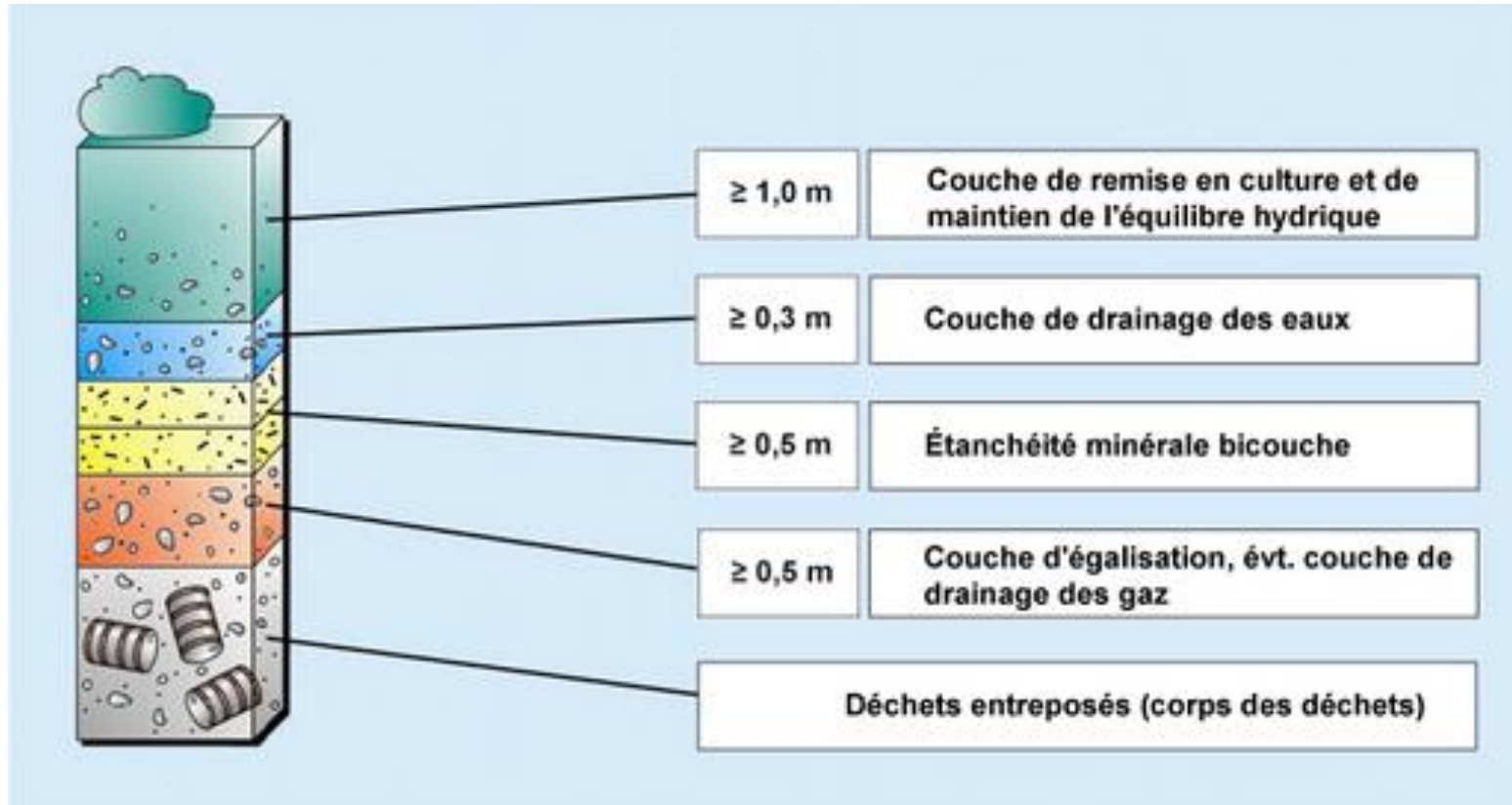
- **Solutions:**

- Système «**étanche**»
- Système **semi-étanche**
- Système «**étanche**» avec **réseau de réinjection**

# Décharges : aspects techniques – fermeture de surface

- Recommandation directive OFEV «Confinement des sites contaminés par des décharges »

## Structure générale



## Décharges : aspects techniques – fermeture de surface

- **Mise en œuvre de la couverture finale sur les décharge de Châtillon FR, GE**



## Décharges : aspects techniques – fermeture de surface

- **Mise en œuvre de la couverture finale sur les décharges de Châtillon FR, GE**



# Décharges : aspects techniques – drainage des eaux

## Drainage des lixiviats (en fond de décharge et sur les talus)

**But:** éviter toute pression sur le fond + captage et maîtrise des eaux,

**Risques:**

- Colmatage
- Tassements
- Chaleurs
- **Le fond:**
  - **inclinaison suffisante**, après tassements,
  - écoulement des eaux par **gravité**
- **Couche de drainage continue:**
  - d'une bonne **perméabilité**,
  - sur le **fond** et sur les **talus**
- **Conduites de drainage**
- **Système de drainage indépendant** par étape
- **Pente des conduites: min. 2 %** après tassements
- **Conduites doivent pouvoir être contrôlées et entretenues**

- **Mise en œuvre d'une couche drainante en grave et de drains sur la couche d'étanchéité du fond d'une décharge de type B**



- Conception des réseaux de drainage



# Décharges : aspects techniques – drainage des eaux

## Drainage des eaux souterraines, des eaux claires non polluées

- **Buts:**
  - Eviter que l'eau souterraine ne pénètre dans la décharge
  - Éviter les instabilités pendant la construction et le remblayage
  - Limiter la pression sur le fond pour ne pas endommager l'étanchéité et éviter des fuites de lixiviats vers l'environnement
- **Technique:**
  - Couches continue ou conduites de drainage des eaux propres
  - Possibilité de mesurer les débits et effectuer des prélèvements
  - Le drainage des eaux claires (souvent sec) sert également de drainage de contrôle en cas de défaillance de l'étanchéité

# Décharges : aspects techniques – contrôle des eaux

- **Contrôles:**
  - Mesures de débit
  - Prélèvement d'échantillons
- **Eaux de lixiviation:**
  - déversement dans exutoire ou STEP
  - garantir traitement ou transport STEP
- **Ruisseaux:**
  - dévier et contourner la décharge à l'air libre
- **Eaux souterraines:**
  - Possibilité de contrôle et prélèvement d'échantillons
  - Trois points de contrôle en aval, un en amont

# Décharges : aspects techniques – contrôle des eaux

## Traitement des lixiviats: différent selon compartiments, très difficile

- En CH: souvent
  - Bassins de rétention, de contrôle, de sédimentation
  - → **canalisation** publique
- Procédés de traitement:
  - Substances non dissoutes: **Sédimentation, flottation**
  - Substances dissoutes précipitables: **Précipitation, floculation, filtration**
  - Substances dissoutes non précipitables:
    - Concentration: membranes, osmose inverse, évaporation**
    - Oxydation: biologique, chimique, thermique**
    - Réduction: biologique, chimique**
    - Adsorption: charbon actif**
- Décharge bioactives (hors Suisse) :
  - La recirculation des lixiviats est souvent une bonne solution

## Traitement des lixiviats d'une décharge de type E ancienne, avec déchets ménagers

Parameter	Einheit	fermentativ-anaerobe Phase 'saure Phase'		stable Methanphase ,Methanphase'	
		Bereich	Mittelwert	Bereich	Mittelwert
pH	---	4,5–7,5	6,1	7,5–9	8
<b>DCO</b>	mg/l	<b>6.000–60.000</b>	22.000	<b>500–4.500</b>	3.000
<b>DBO5</b>	mg/l	<b>4.000–40.000</b>	13.000	<b>20–550</b>	180
Ca	mg/l	10–2.500	1.200	20–600	60
SO <sub>4</sub>	mg/l	70–1.750	500	10–420	80
Zn	mg/l	0,1–120	5	0,03–45	0,6
Fe	mg/l	20–2.100	780	3–280	15

# Décharges : aspects techniques – contrôle des eaux

## Lixiviats d'une décharge de type E ancienne, avec déchets ménagers

		fermentativ-anaerobe Phase 'saure Phase'	stable Methanphase 'Methanphase'
Parameter	Einheit	Bereich	Mittel
TKN	mg/l	50–5.000	1.350
<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	mg/l	30–3.000	<b>750</b>
<b>Chlorid</b>	mg/l	100–5.000	2.100
Pb	mg/l	0,008–1,02	0,09
Cd	mg/l	0,0005–0,14	0,006
Cr	mg/l	0,03–1,6	0,3
Cu	mg/l	0,004–1,4	0,08
Ni	mg/l	0,02–2,05	0,2
<b>AOX*</b>	µg/l	320–3.350	<b>2.000</b>

\* halogènes organiques adsorbables

Source: Université Wien, ABF-Boku

## Décharges : aspects techniques – contrôle des eaux

**Lixiviats d'une décharge de type E ancienne, avec déchets ménagers**

**Charge organique**

**Première phase de fermentation anaérobie:**

95% du carbone organique (COT) sont substances avec un poids moléculaire faible (<100 g/mol), seuls quelques % ont un poids >> 1000 g/mol

**Bonne dégradabilité biologique**

**DBO<sub>5</sub> est élevée**

**DBO<sub>5</sub>/DCO env. 0.5**

**Deuxième phase stable / méthanisation:**

La majorité du COT sont des substances avec un poids moléculaire élevé

**Mauvaise dégradabilité biologique : Les STEP classiques traitent très mal de telles eaux**

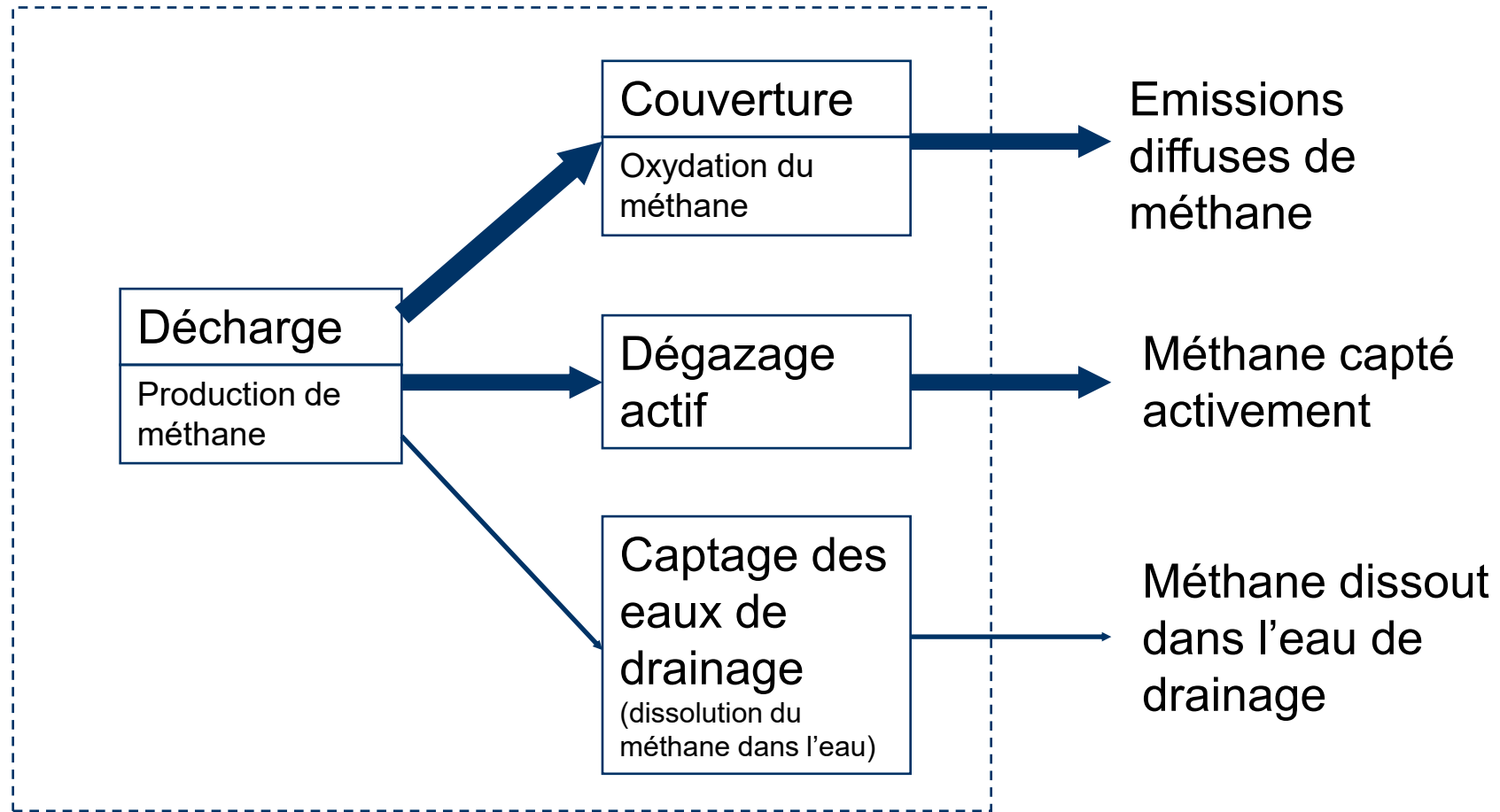
**DBO<sub>5</sub> est faible**

**DBO<sub>5</sub>/DCO env. 0.1**



# Décharges : aspects techniques – dégazage

- **Emissions de gaz d'une décharge (avec déchets ménagers)**



# Décharges : aspects techniques – dégazage

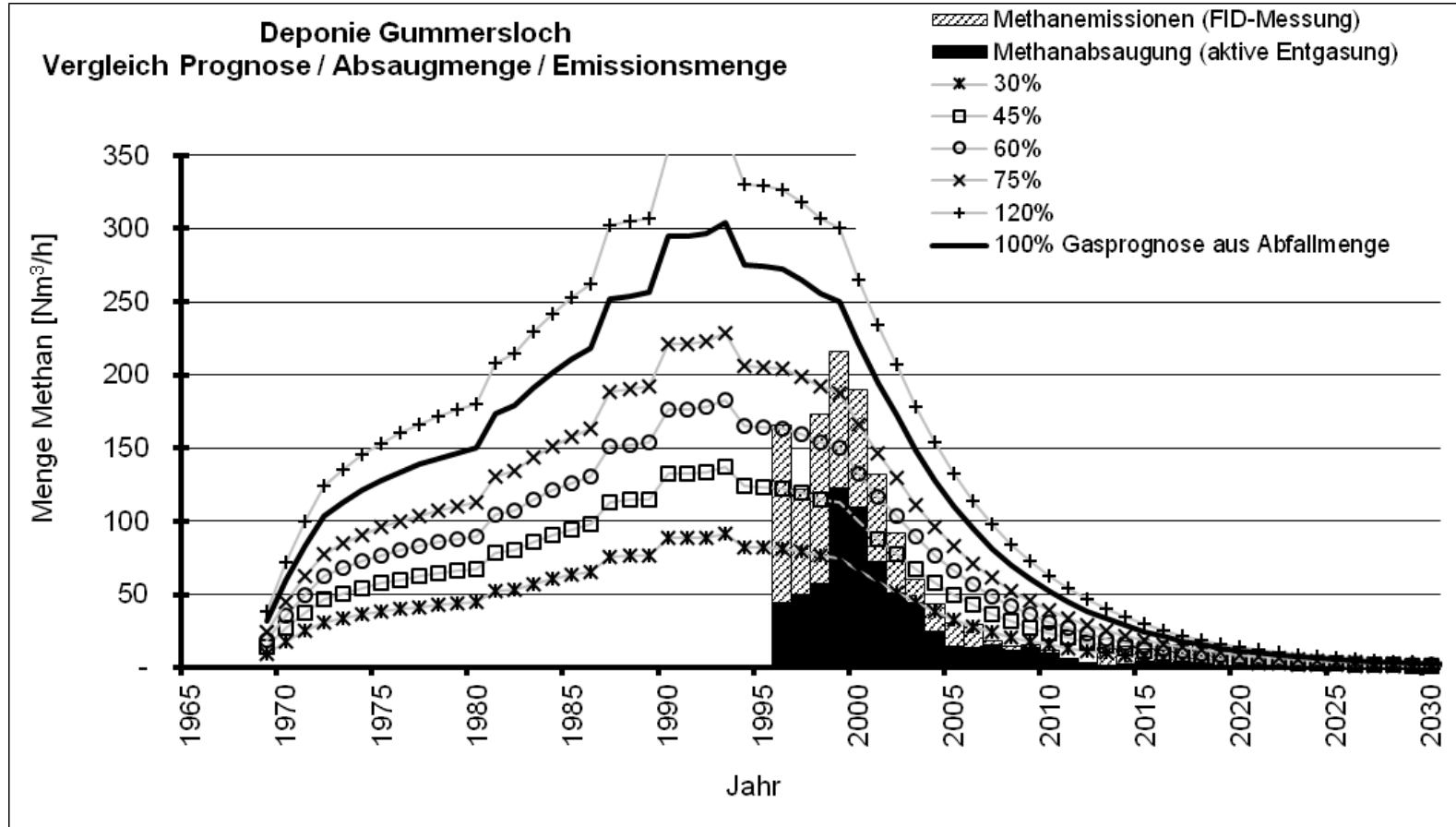
- **Production de gaz (avec déchets ménagers)**
  - **Valeurs empiriques**

Nm <sup>3</sup> /t total	CH <sub>4</sub>	Gp (CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> )
Rapporté au poids sec	75 - 115	130 - 230
Rapporté au poids humide	50 - 80	90 - 160

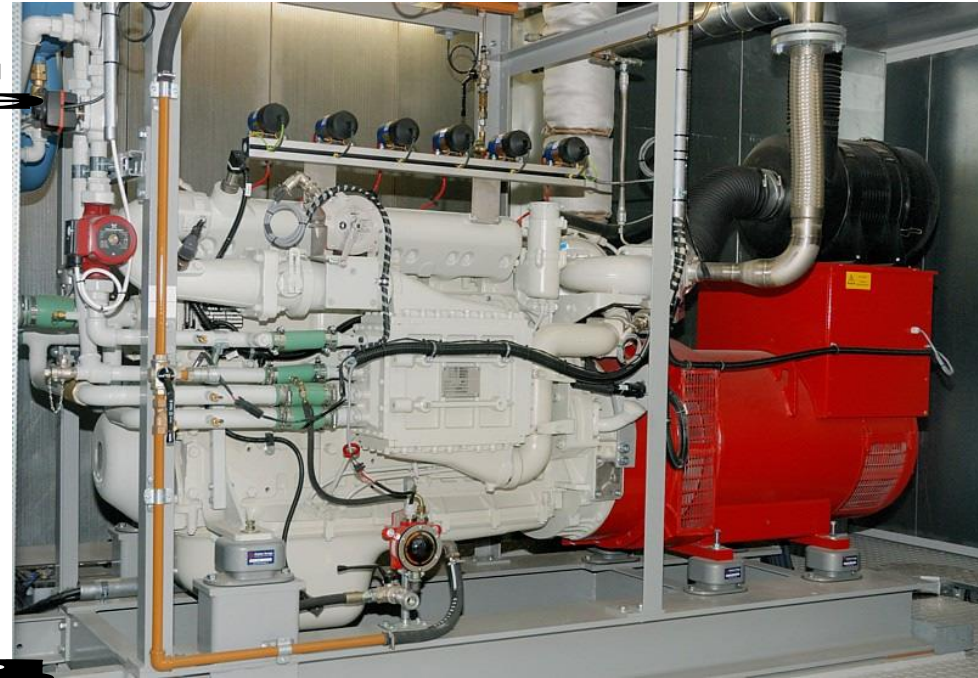
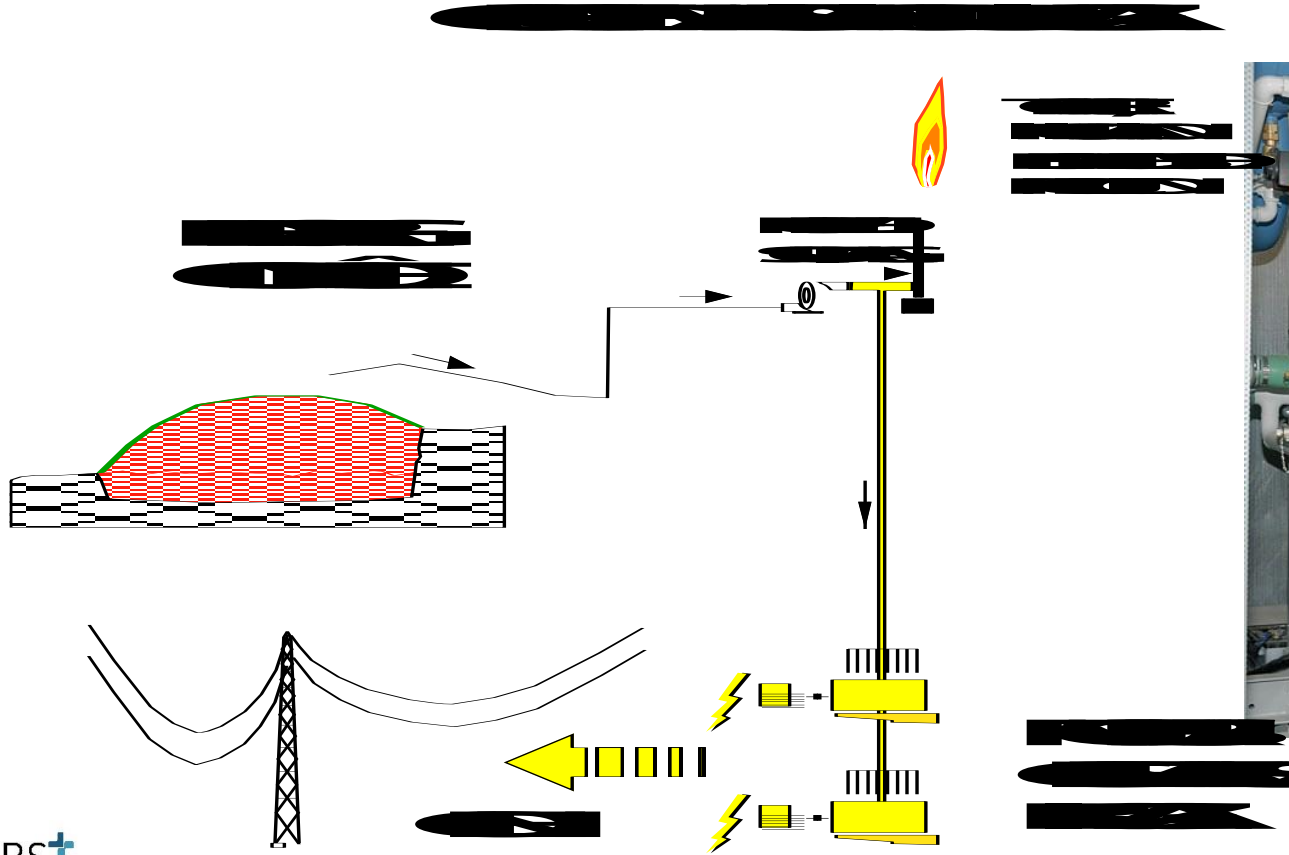
- Ordre de grandeur des quantités retirés:  
500 à 5'000 m<sup>3</sup>/h, selon grandeur de la décharge

# Décharges : aspects techniques – dégazage

- **Emissions de gaz d'une décharge (avec déchets ménagers)**



## Moteur à gaz (Décharge du Teuftal BE)



- **Torchère (projet climat fondation Klik)**



# Décharges : aspects techniques – dégazage

## Dangers d'asphyxie et d'explosion

- **Danger d'asphyxie** très important lié au méthane et CO<sub>2</sub>:
  - **Dans tous les points bas : remplacement de l'air par le méthane !**
- **Danger d'explosion par le H<sub>2</sub>**
  - Limites d'explosions (dans l'air):  
**Inférieure: 4%-volume**  
**Supérieure: 77%-volume**
- **Danger d'explosion par le méthane CH<sub>4</sub>** (dans l'air)
  - Inférieure: 4.4%-volume**  
**Supérieure: 16.5%-volume**
- **Danger d'explosion** limité aux endroits confinés (chambres, tuyaux,..)

## Décharges : questions

### Technique de mise en décharge

- Est-ce que une décharge contrôlée pour **type B (inertes)** doit être étanchée au fond et en talus ?
- Est-ce qu'un **ruisseau** peut être canalisé dans une conduite sous une décharge ?
- Qu'est-ce qu'il faut faire avec les **lixiviats** provenant des décharges ?

# Décharges : surveillance

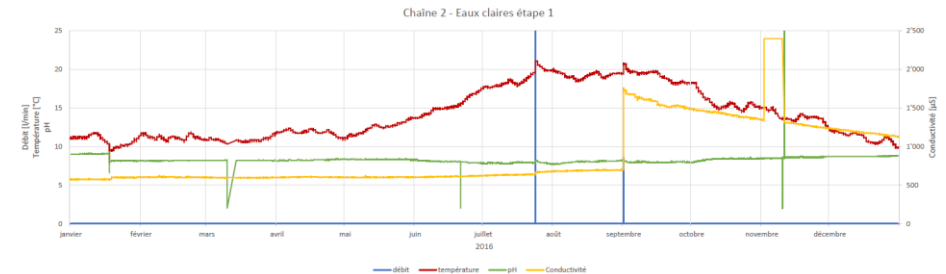
## Surveillance/monitoring

- **Eaux souterraines**
  - Niveaux
  - Paramètres physiques et chimiques (pH, conductivité, température, DOC, anions, cations, substances spécifiques)
- **Eaux superficielles**
  - Sources, cours d'eau
  - Débits
  - Paramètres physiques et chimiques
- **Émissions gazeuses**
  - Quantités
  - Composition: au minimum CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>

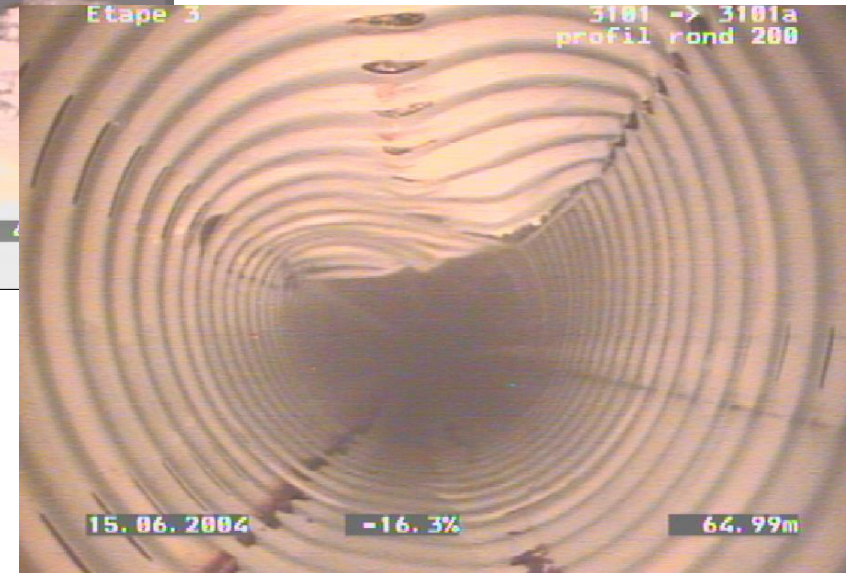
## Décharges : surveillance

### Surveillance/monitoring

- **Traitement et interprétation des données**
  - Établir des courbes des **variations dans le temps**  
(une mesure seule n'est pas pertinente)
  - Évaluation **critique** des résultats:  
Contamination à l'échantillonnage, Méthodes d'analyses
  - Établir des **bilans**  
(bilan hydraulique, bilan du gaz)



### Curage et contrôle des réseaux de drainage



# Décharges : surveillance

## Gestion après fermeture

### CH (art. 43 OLED)

Contrôle des installations techniques, de la nappe phréatique, des lixiviats et des gaz pendant au moins:

- min. 5 ans pour décharges B
- min. 15 ans pour décharges de types C, D et E

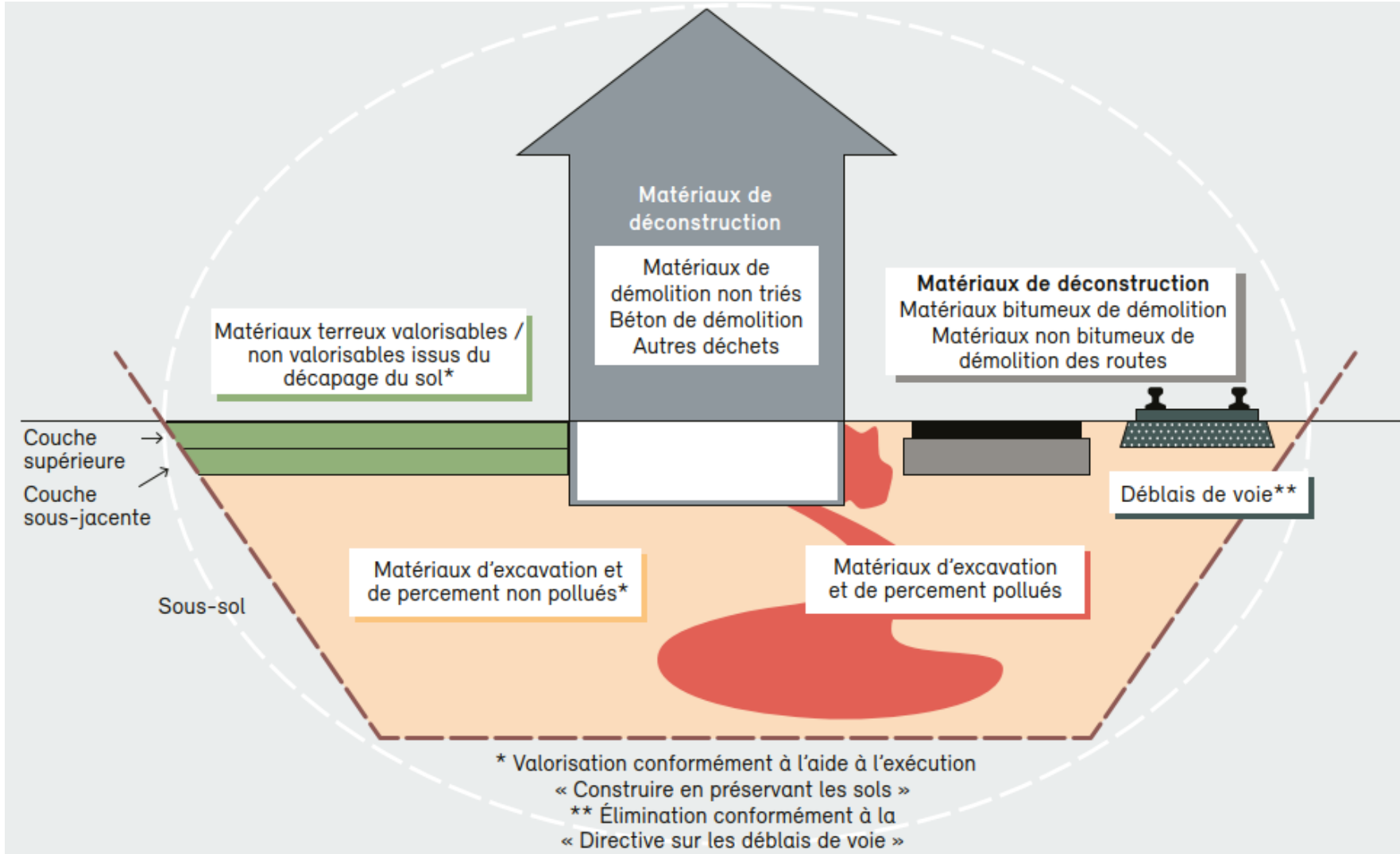
→ actuellement 50 ans ~ 2 générations par analogie avec l'OSites

### UE (Directive 1999/31/CE)

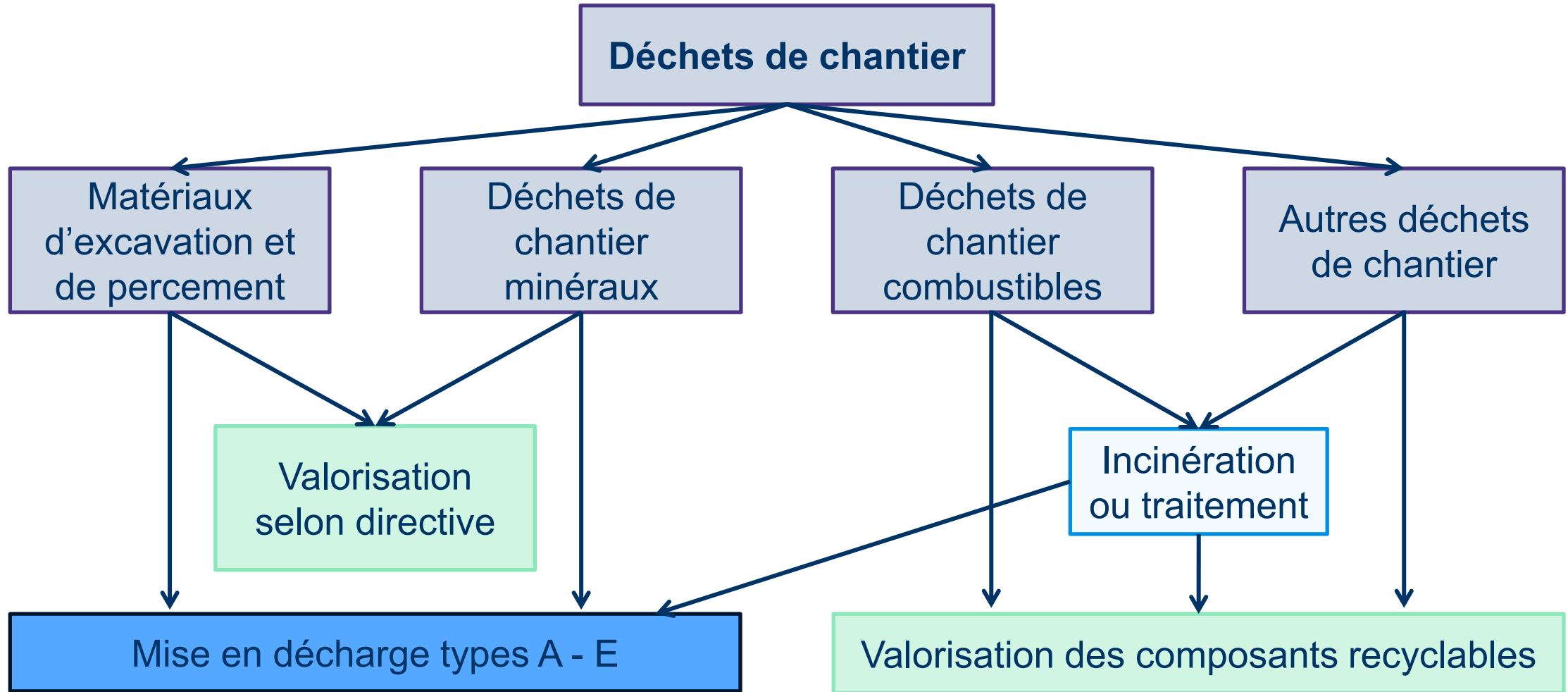
Après sa désaffectation définitive, l'exploitant contrôle la décharge pour toute la durée que l'autorité compétente aura jugée nécessaire.

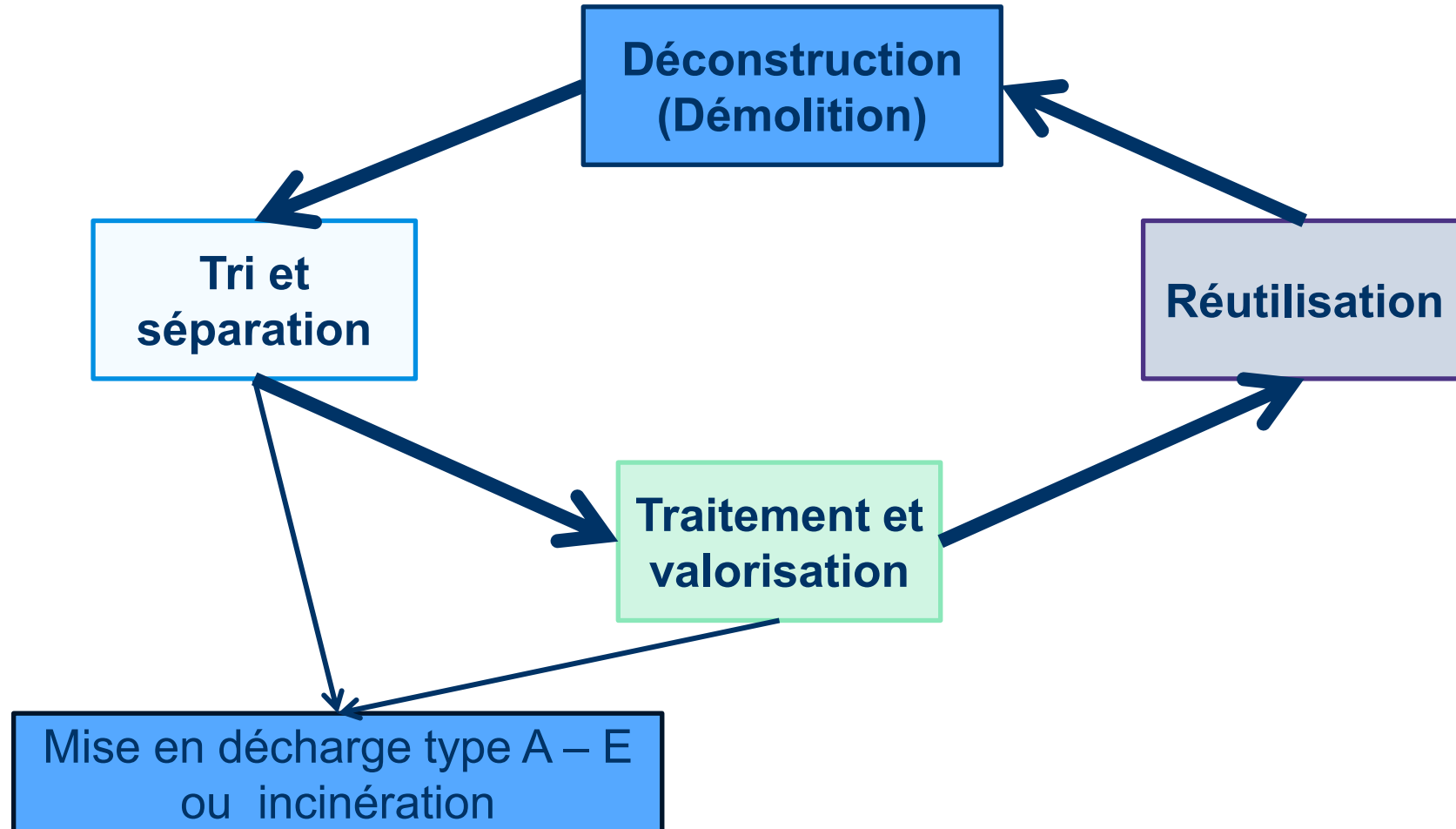
**→ Exercice No 7: suivi-après-fermeture**





Source: OFEV 2020





## Déchets de chantier - types de déchets

- **Selon art. 17 OLED, les déchets de chantier minéraux doivent être triés sur le chantier selon les catégories suivantes**
- **Les déchets spéciaux doivent être triés et stockés séparément sur le chantier**
- **Les différentes catégories doivent être triés et stockés temporairement sur le chantier dans des bennes séparées**

Matériaux non-bitumineux de démolition des routes

Matériaux bitumineux de démolition

Béton de démolition

Matériaux de démolition non-triés

Tessons de tuile et de briques

plâtre

## Déchets de chantier: Matériaux bitumineux de démolition

- **Matériaux de fraisage d'enrobés bitumineux**
- **Plaques d'asphalte découpées lors de démolitions**
- **Valorisation possible comme granulats ou grave recyclés (RC A)**
- **Si la concentration de HAP > 250mg/kg**
  - Valorisation limitée max. 1000 mg/kg
  - Mise en décharge de type E
  - Traitement obligatoire dès l'année 2026



# Déchets de chantier: Matériaux non-bitumineux de démolition des routes

- Couches porteuses ou de fondation non-liées
- Couches porteuses ou de fondation stabilisées
- Générés par démolition, excavation ou fraisage
- Contiennent du gravier de route, des bordures de trottoirs ou routes, et des morceaux de béton



## Déchets de chantier: Béton de démolition

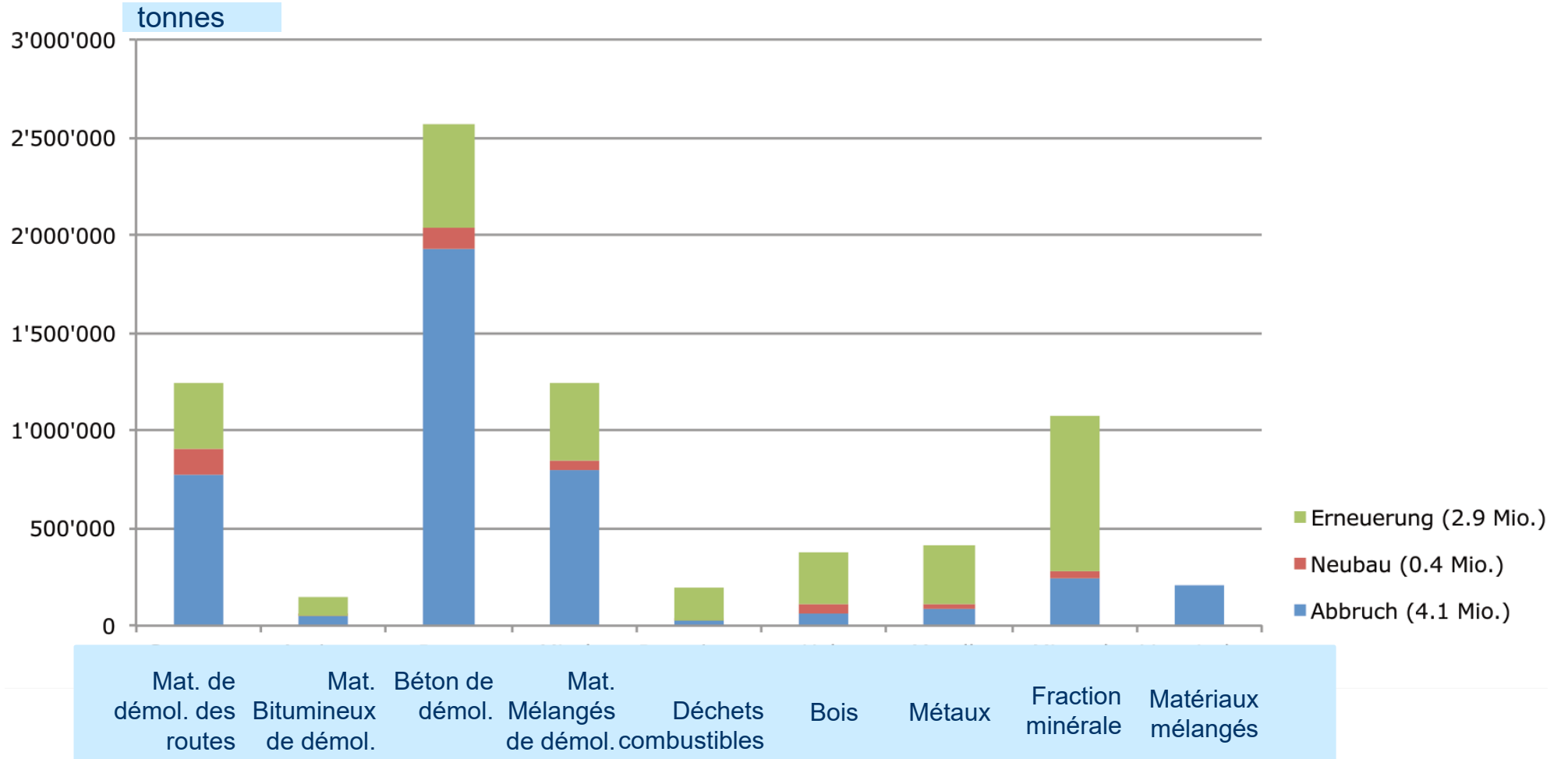
- Issu de structures ou de dalles en béton avec ou sans armature
- Généré par fraisage ou démolition
- Contient des morceaux de béton et des morceaux de fers à béton pris dans la masse



## Déchets de chantier: Matériaux de démolition non-triés

- Mélange de déchets de chantier non-triés
- Comprennent des morceaux de béton, des briques, de la maçonnerie avec ou sans enduit, etc.
- Le taux de matériaux bitumineux doit être très faible (< 3-4% massique) pour que cette catégorie de déchets puisse être valorisée







- **Amiante faiblement aggloméré**



Source: CSD Ingénieurs SA

- **amiante fortement aggloméré: fibrociment**



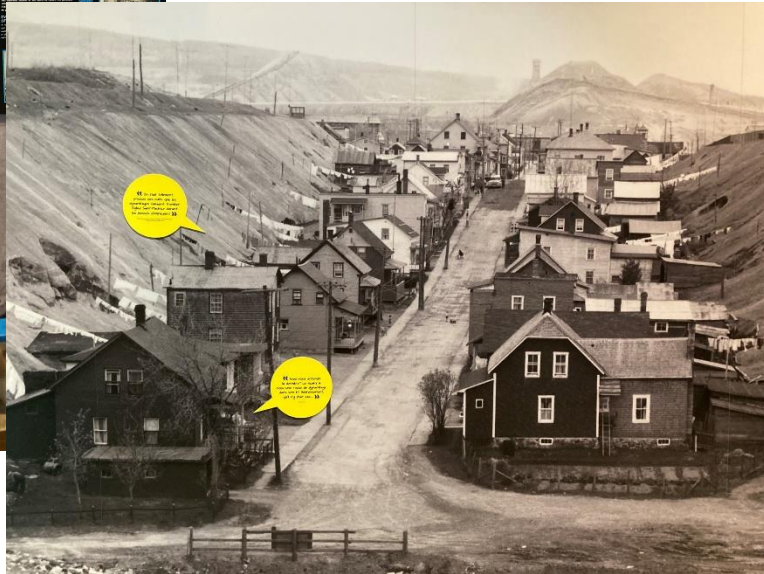
Source: Canton de Lucerne

- **Aide à l'exécution intercantonale; cas du fibrociment en DTB**
  - Annonce préalable
  - Emballage en plastique transparent, sac de benne ou big-bags
  - Etiquette «amiante»
  - Déposer sans endommager ni vider les sacs et les big-bags
  - Ne pas pousser ou déplacer les matériaux
  - Recouvrir rapidement puis compacter





Source : Musée de Thedford Mines



Ancienne mine de Black Lake en 2023

# Déchets de chantier : déchets acceptés en décharge

- **Echantillonnage et analyses (1)**
- **Matériaux d'excavation** → **Bétons de démolition**



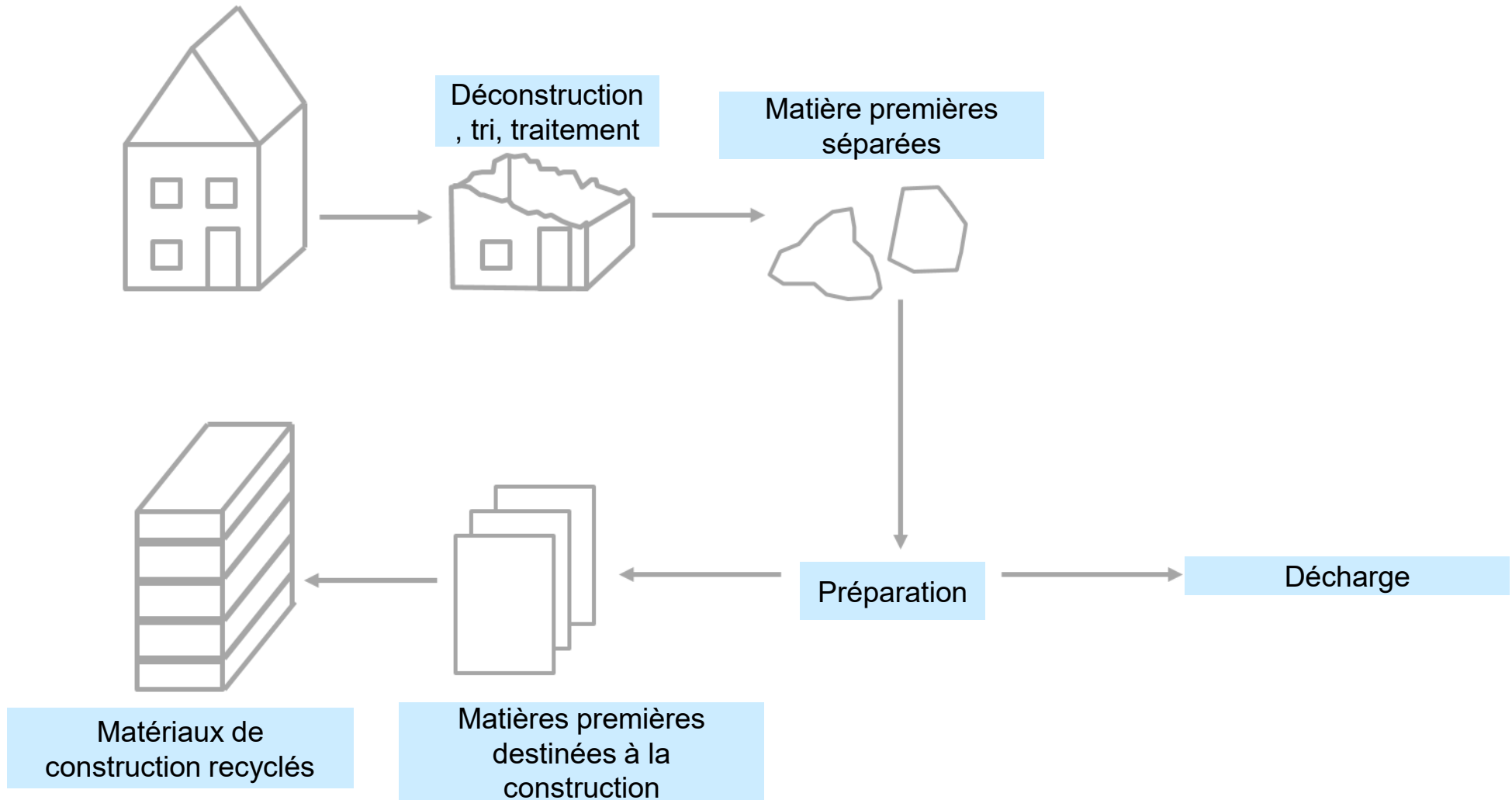
# Déchets de chantier : déchets acceptés en décharge

- **Echantillonnage et analyses (2)**
- **Maçonnerie avec revêtements**



## Valorisation des déchets de chantier

- **Selon art. 12 OLED: *Les déchets doivent faire l'objet d'une valorisation matière ou énergétique, si une valorisation est plus respectueuse de l'environnement:***
  - a. *qu'un autre mode d'élimination, et*
  - b. *que la fabrication de produits nouveaux ou l'acquisition d'autres combustibles.*
- **Les déchets de chantier doivent être valorisés autant que possible comme matières premières pour la fabrication de nouveaux matériaux de construction.**
- **Pour une valorisation de qualité**
  - Le tri et la séparation doivent être rigoureux
  - Les déchets contaminés par des polluants doivent être traités ou éliminés
- **La valorisation doit être écologiquement pertinente, techniquement faisable et économiquement supportable**



## Valorisation des déchets de chantier

- **Sols (Horizon A et Horizon B): valorisation en tant que tel**
- **Matériaux d'excavation et de percement: comblement de sites d'extraction de matériaux, de fouilles, modification topographiques, etc.**
- **Tuiles et briques: Construction de pistes dans les décharges**
- **Autres déchets de construction: traitement supplémentaire nécessaire avant une valorisation (tri, élimination des impuretés, concassage, etc.)**



Granulats bitumineux



Grave de recyclage P



Granulats de béton



Granulats non-trié

Existe aussi:

- **Grave de recyclage A**  
(forte proportion de matériaux bitumineux)
- **Grave de recyclage B**  
(proportion importante de béton de démolition)

Fig. 4 > Exigences relatives à la qualité des matériaux de récupération

Matériaux de récupération \ Catégories de déchets de chantier	Matériaux bitumineux	Grave	Béton de démolition	Matériaux minéraux non triés	Corps étrangers
Granulat bitumineux	80	20		2	0.3*
Grave de recyclage P	4	95	4	1	0.3
Grave de recyclage A	20	80	4	1	0.3
Grave de recyclage B	4	80	20	1	0.3
Granulat de béton	3**	95		2	0.3
Granulat non trié	3	97			0.3% sans plâtre + 1% plâtre + 1% verre

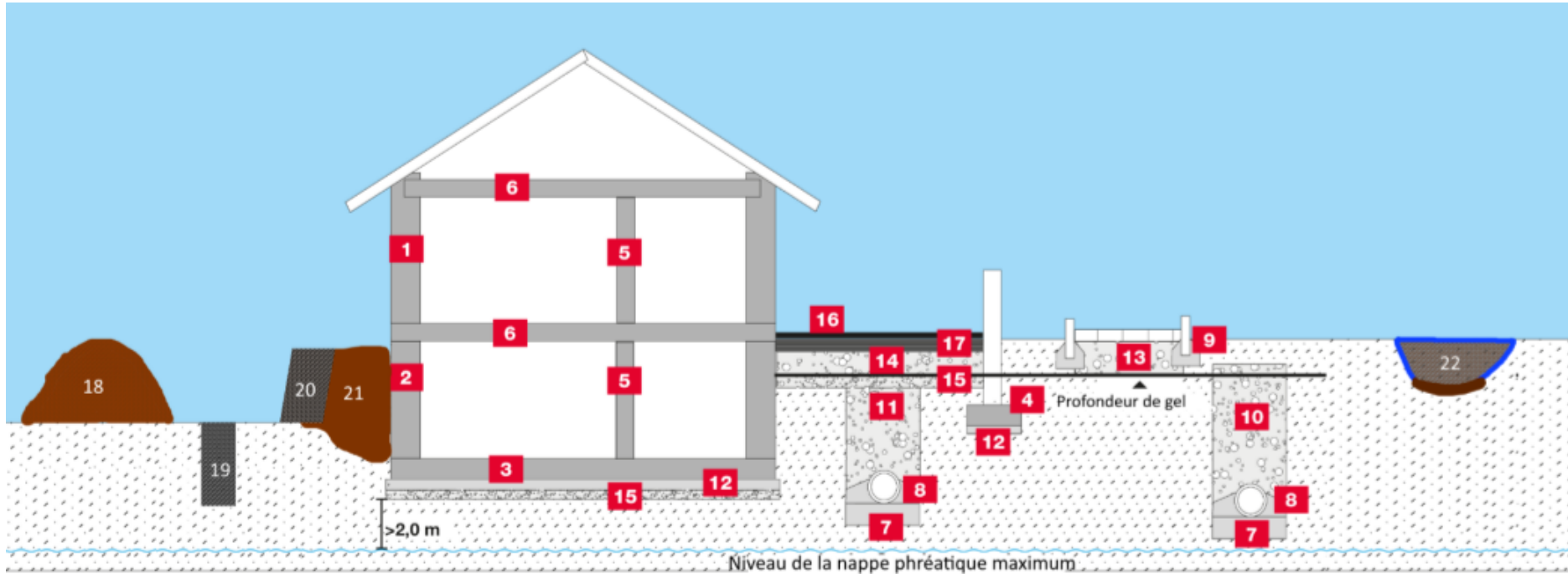
	Constituants principaux: pourcentages massiques minimaux
	Constituants secondaires: pourcentages massiques maximaux
Corps étrangers	Pourcentage total maximal (bois, papier, plastique, métaux, plâtre ...)
*	En cas de mise en œuvre à chaud: 0% (pour des raisons techniques)
**	En cas d'utilisation pour béton normalisé: 0%

Fig. 5 > Utilisation des six sortes de matériaux de récupération

Matériaux de récupération \ Utilisations admises	Mise en œuvre sous forme non liée		Mise en œuvre sous forme liée	
	sans revêtement	avec revêtement	aux liants hydrauliques	aux liants bitumineux
Granulat bitumineux	*	* *		
Grave de recyclage P				
Grave de recyclage A				
Grave de recyclage B				
Granulat de béton				
Granulat non trié				

	Utilisation admise
* *	Utilisation avec restriction: possible uniquement pour des planies sous un revêtement bitumineux
	Utilisation interdite
*	Utilisation possible à condition que la couche ne dépasse pas 7 cm d'épaisseur et que le granulat bitumineux soit laminé

- **Module déchets de chantier – Valorisation des matériaux d’excavation et de percement (aide à l’exécution de l’OLED):**



- **L’OLED permet la réutilisation de matériaux faiblement pollués (entre A et B, matériaux T, tolérés) sur les chantiers/sites d’où ils proviennent**

# Exemple d'un chantier de déconstruction: citernes du MIC à Marly



Les dernières heures des citernes marlinoises © Charles Ellena



Source: <https://marly-innovation-center.org>

## Exemple d'un chantier de déconstruction: citernes du MIC à Marly



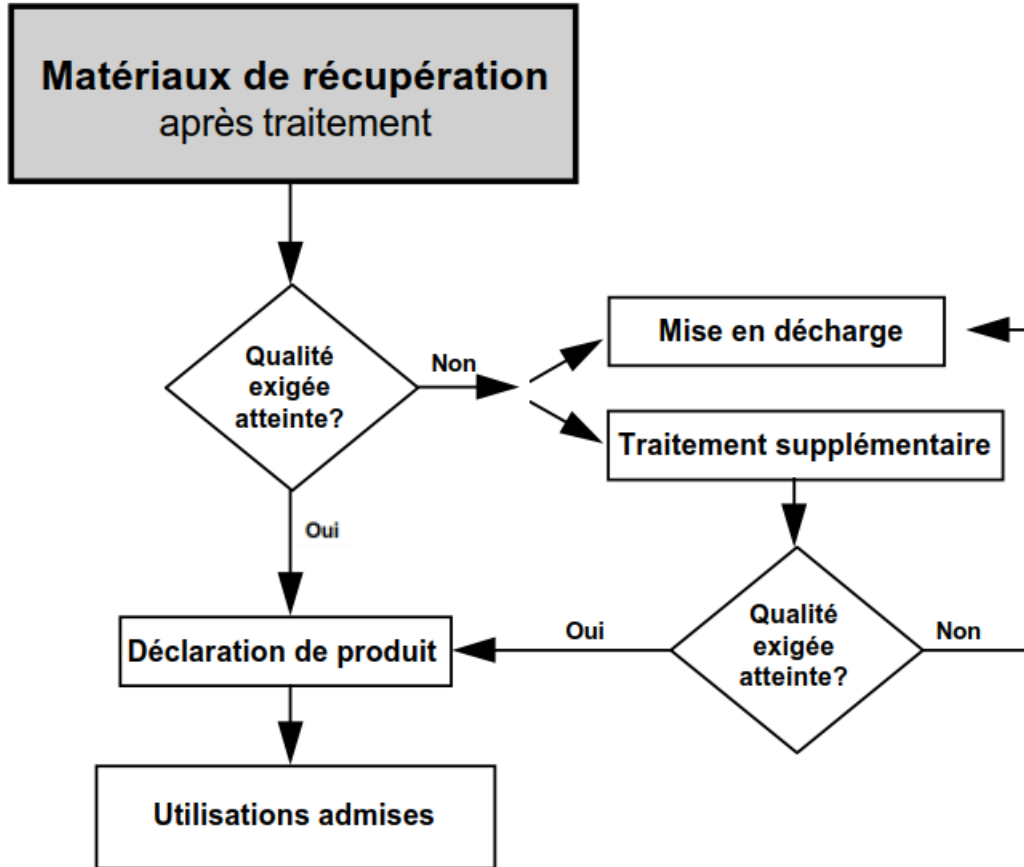
© Lib/Charly Rappo



Source: CSD Ingénieurs SA

## Matériaux de construction recyclés

- **Il existe de nombreuses possibilités de valorisation de matériaux de recyclage normés**
- **Leur utilisation est restreinte dans certains cas (par exemple, dans des zones de protection des eaux)**
- **La loi et l'ordonnance fédérale sur les produits de construction doivent être pris en compte (LPCo et OPCo)**
- **Les matériaux de construction recyclés doivent obtenir des attestations de performance et respecter les normes concernant les matériaux de construction**



Contrôles qualité par:  
Laboratoires



ASR



Baustoffrecycling Schweiz  
Recyclage des matériaux de construction Suisse  
Riciclaggio di materiali da costruzione Svizzera

- La plupart des cantons propose des directives et aides à l'exécution sur les installations de recyclage des déchets de chantier minéraux et la valorisation de leurs produits

RC-Mischgranulatgemisch	Abstand zum max. Grundwasser >2,0 m	RC-Gesteins- körnungsgemische
RC-Betongranulatgemisch		
RC-Asphaltgranulatgemisch		
RC-Kiesgemisch A		
RC-Kiesgemisch B		
RC-Kiesgemisch P	Expositionsklassen X0   XC1   XC2   keine	RC-Beton
RC-Magerbeton M		
RC-Magerbeton C		
RC-Beton M		
RC-Beton C		
RC-Beton M		
RC-Beton C		

