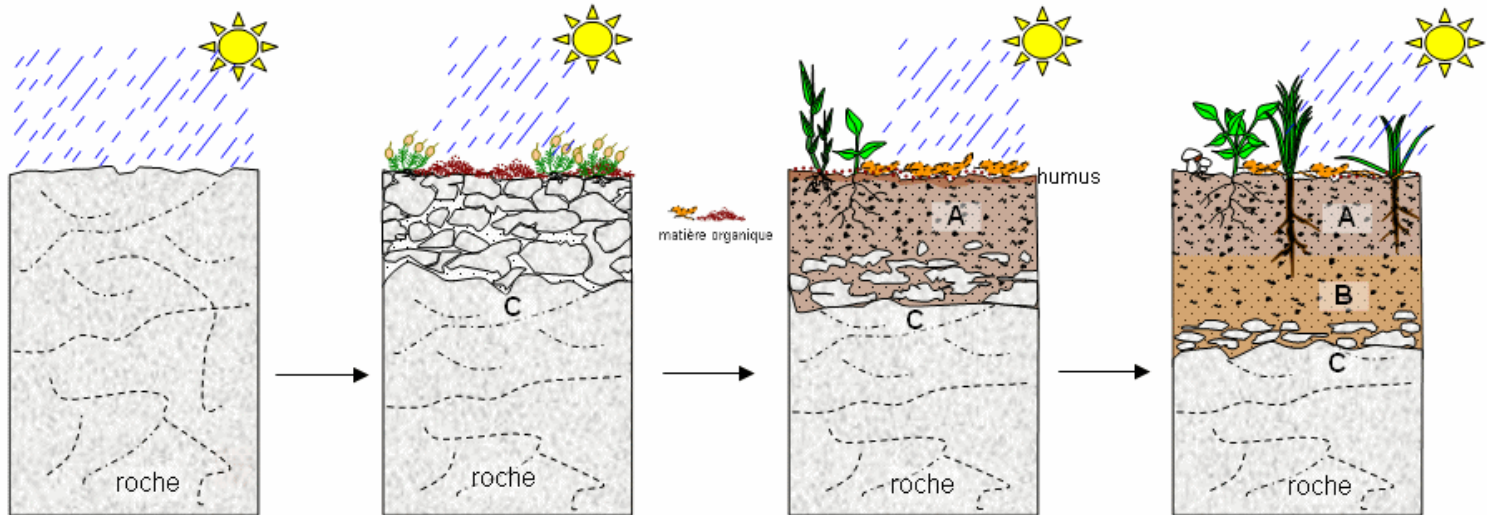


# Protection des sols

Etudes d'impact sur l'environnement



- Évaluation d'un projet de construction d'un gazoduc
- Protection des sols
  - définitions
  - bases légales
  - autorités compétentes
  - bases de l'évaluation et minimisation des impacts
  - SDA
- Néophytes invasives
  - définitions et caractéristiques
  - bases légales
  - problèmes et risques
  - Exemples et lutte

# EPFL Etude de cas

Etudes d'impact sur l'environnement

Projet de gazoduc haute pression entre Trélex (VD) et Colovrex (GE)



- Conduite acier, 400 mm (16")
- Pression maximum 80 bar
- 24 km (9 sur GE et 15 sur VD)

# Contexte du projet

- Construction d'un nouveau gazoduc haute pression d'une longueur d'environ 24 kilomètres dans l'ouest lémanique afin de renforcer le réseau de distribution de gaz naturel existant

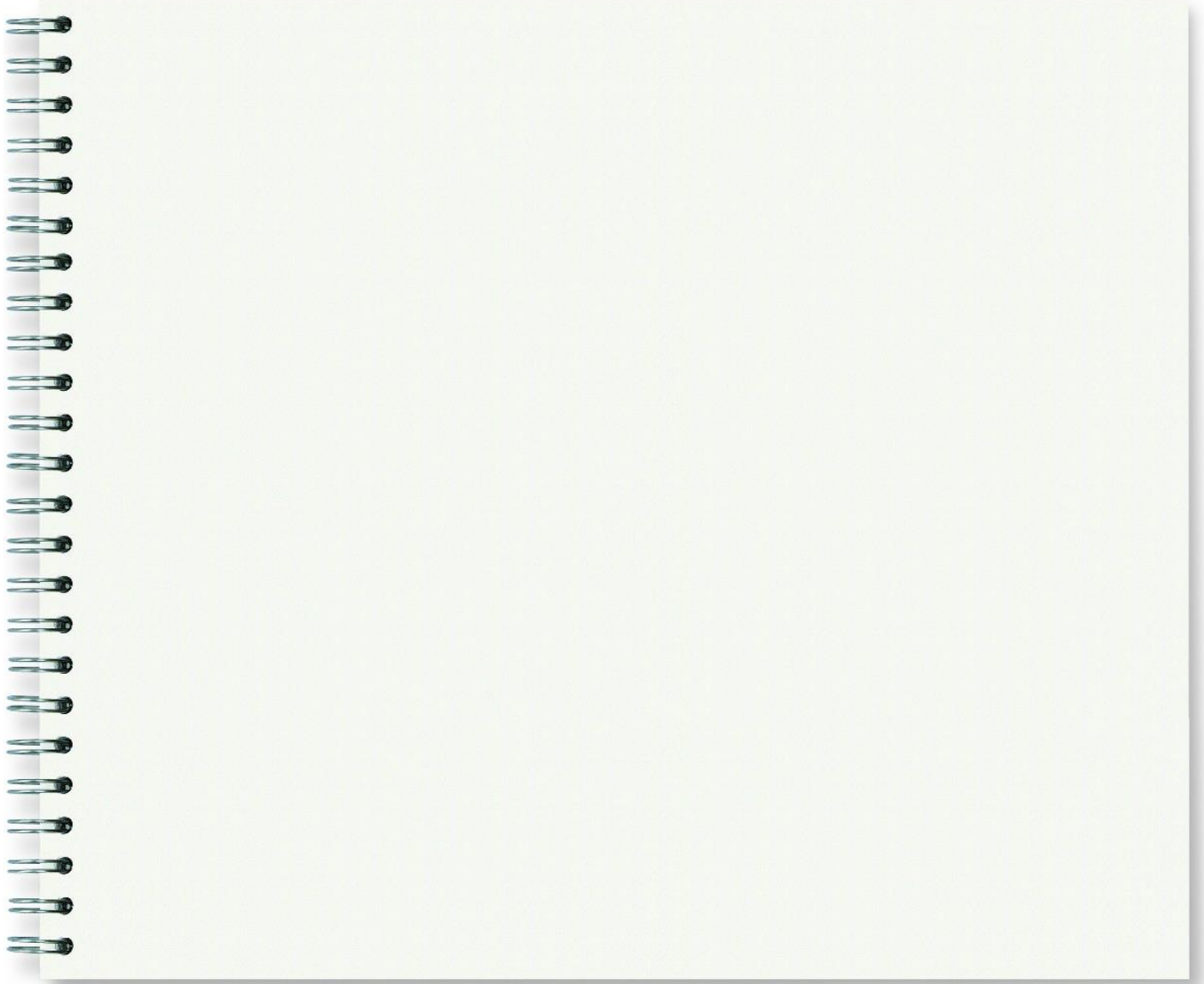


# Caractéristiques du projet

- Tracé défini grâce à une analyse territoriale multicritères
- Principales contraintes : risques, constructions et zones constructibles, frontière nationale, protection des eaux, sites pollués, zones protégées, forêts
- Tracé essentiellement en zone agricole
- Franchissement de 12 cours d'eau, dont la Versoix
- Tracé en zone forestière sur 4 km.
- Gazoduc enterré, 1 m. de recouvrement minimum

# Ce projet est-il soumis à étude d'impact ?

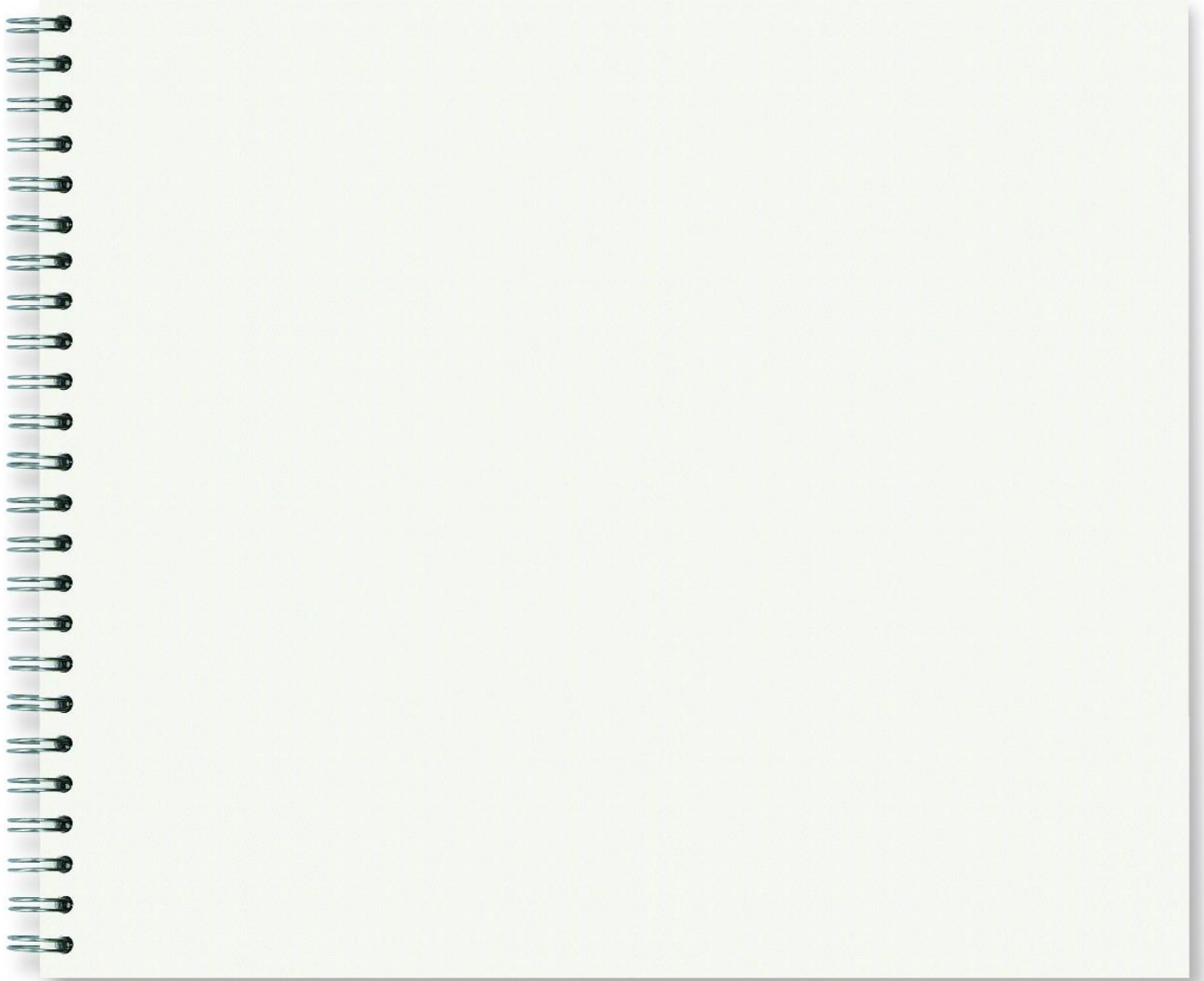


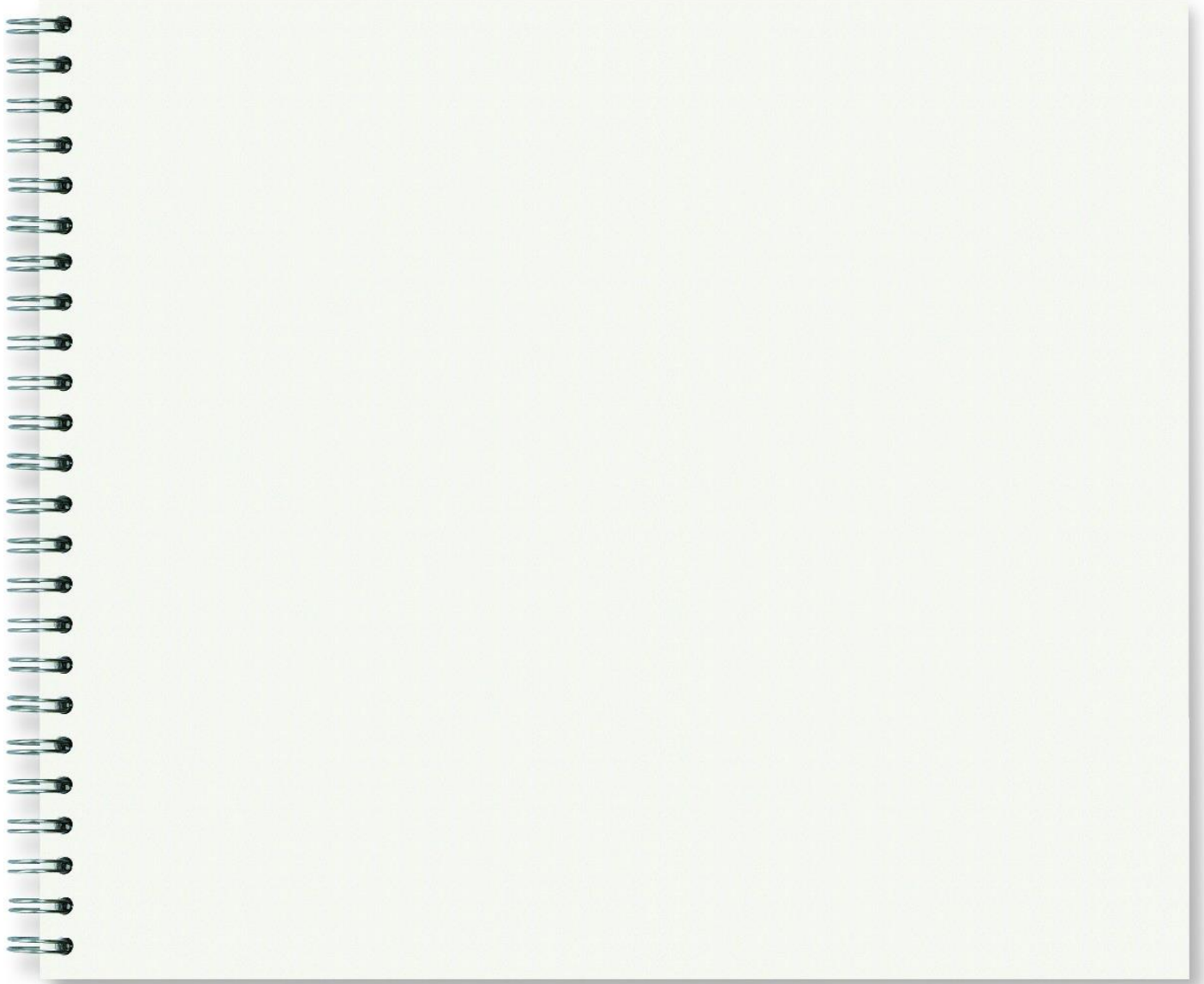


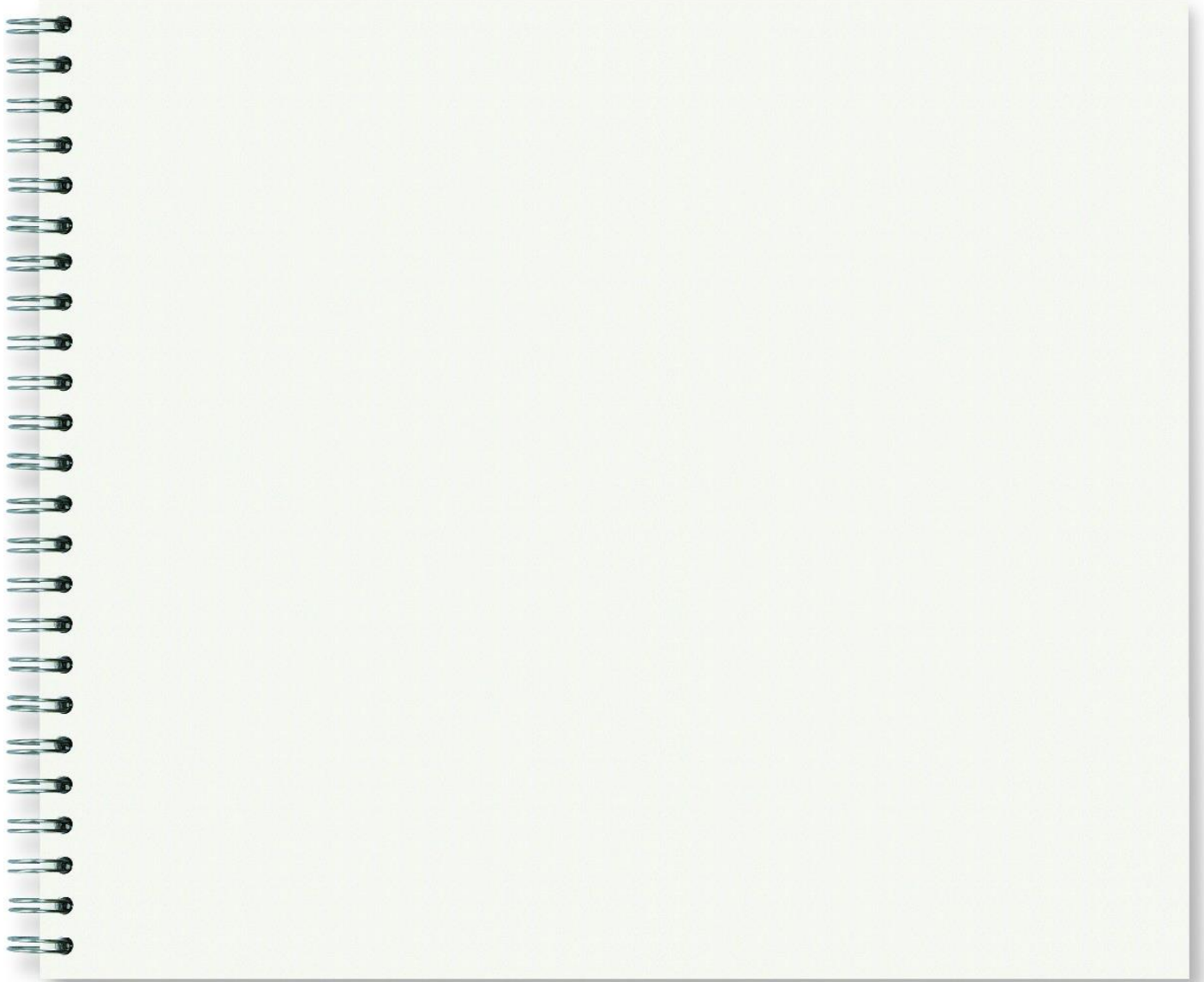


**Quels sont les principaux impacts du projet en phase d'exploitation ?**

**Et en phase de réalisation (chantier) ?**







# Qu'est-ce qu'un sol ?









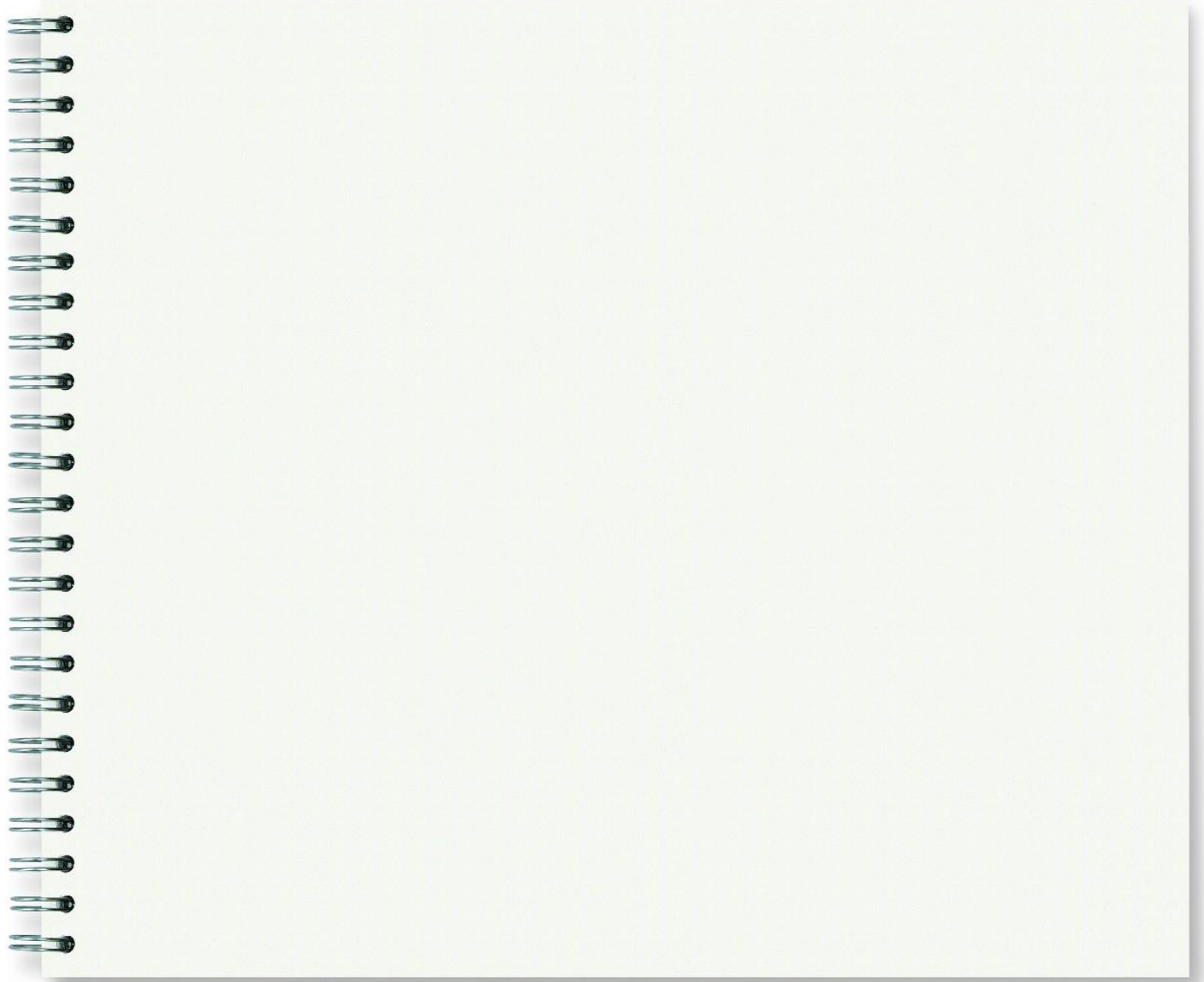
# EPFL Définitions

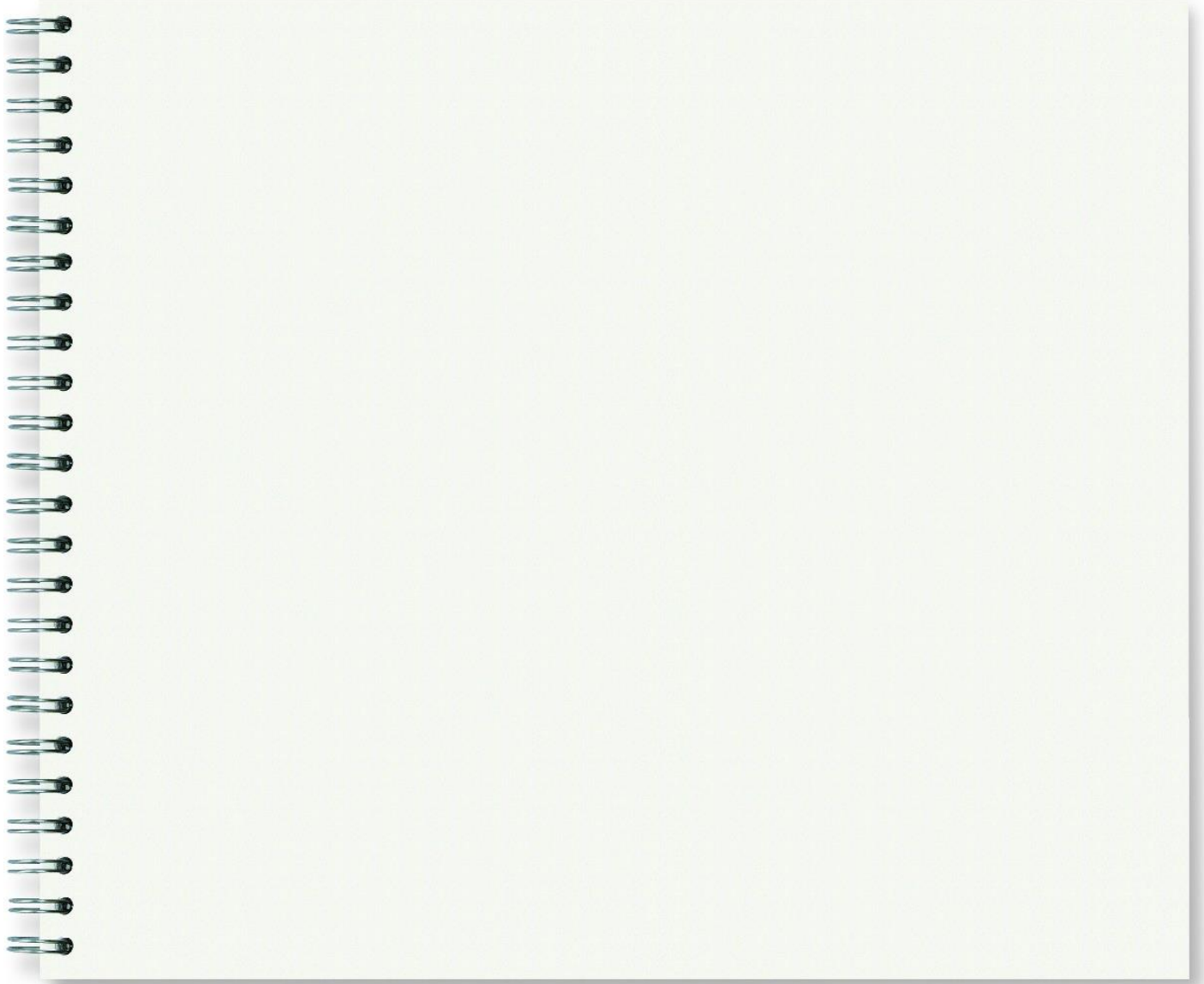
- « Le **sol** est la couche la plus externe, marquée par les êtres vivants, de la croûte terrestre. Il est le siège d'un échange intense de matière et d'énergie entre l'air, l'eau et les roches. Le sol, en tant que part de l'écosystème, occupe une position-clé dans les cycles globaux des matières » (Société suisse de pédologie, 1997).





**Sur quelles bases  
légales s'appuyer pour  
déterminer un impact  
sur les sols ?**





# Autorités compétentes

## Au niveau fédéral :

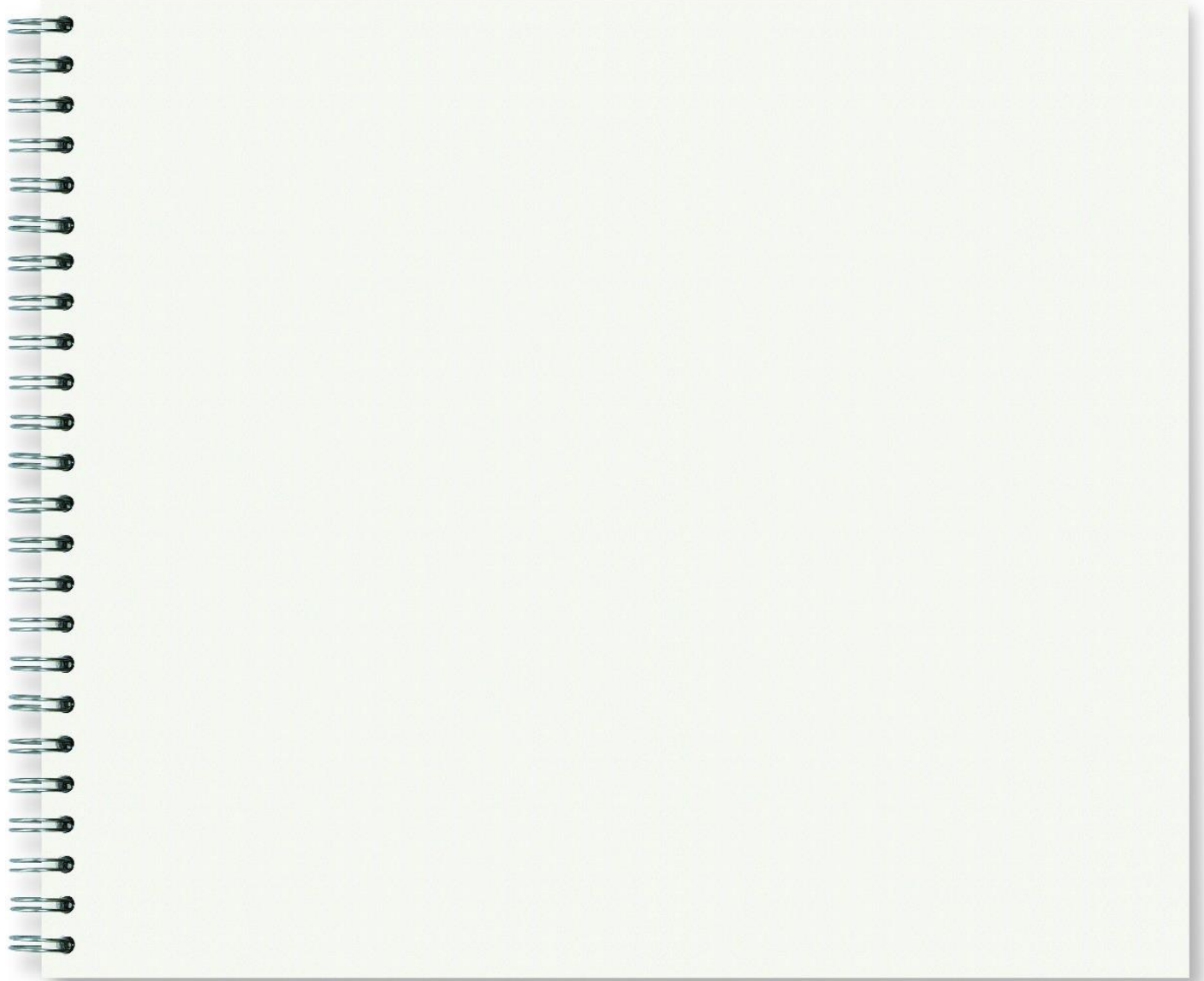
- Office fédéral de l'environnement (OFEV) : *Division Sols*

## Au niveau cantonal

- Direction Générale de l'Environnement - GEODE - SOL (Vaud)
- Département de l'intérieur, de la mobilité et de l'environnement - GESDEC (Genève)
- Service de la protection de l'environnement (Valais)
- Service de la protection de l'environnement (Neuchâtel)
- Etc.

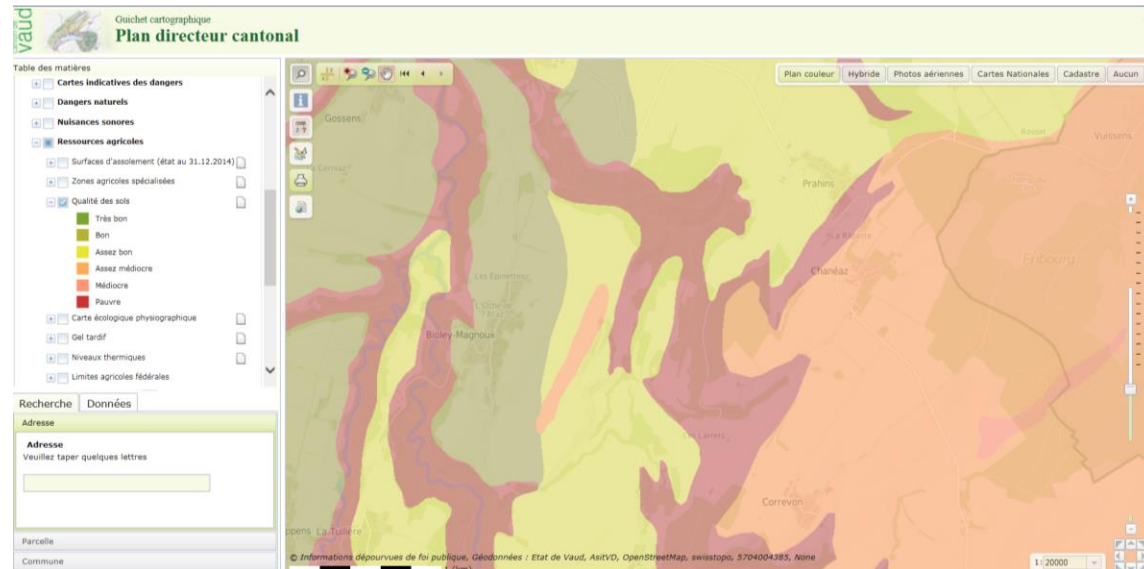
# Comment caractériser un impact sur les sols ?





# Caractérisation de l'état initial

- Recherches bibliographiques : en général, peu de données disponibles !
  - Canton de Vaud : carte des sols à l'échelle 1:100'000 sur SIG (<http://www.pdcn.vd.ch>)



- Canton de Genève : carte des sols agricoles disponible en format SIG, description de profils de sols de vigne, etc.
- Canton du Valais : élaboration en cours d'une carte des sols agricoles de plaine à l'échelle 1:10'000

# Caractérisation de l'état initial

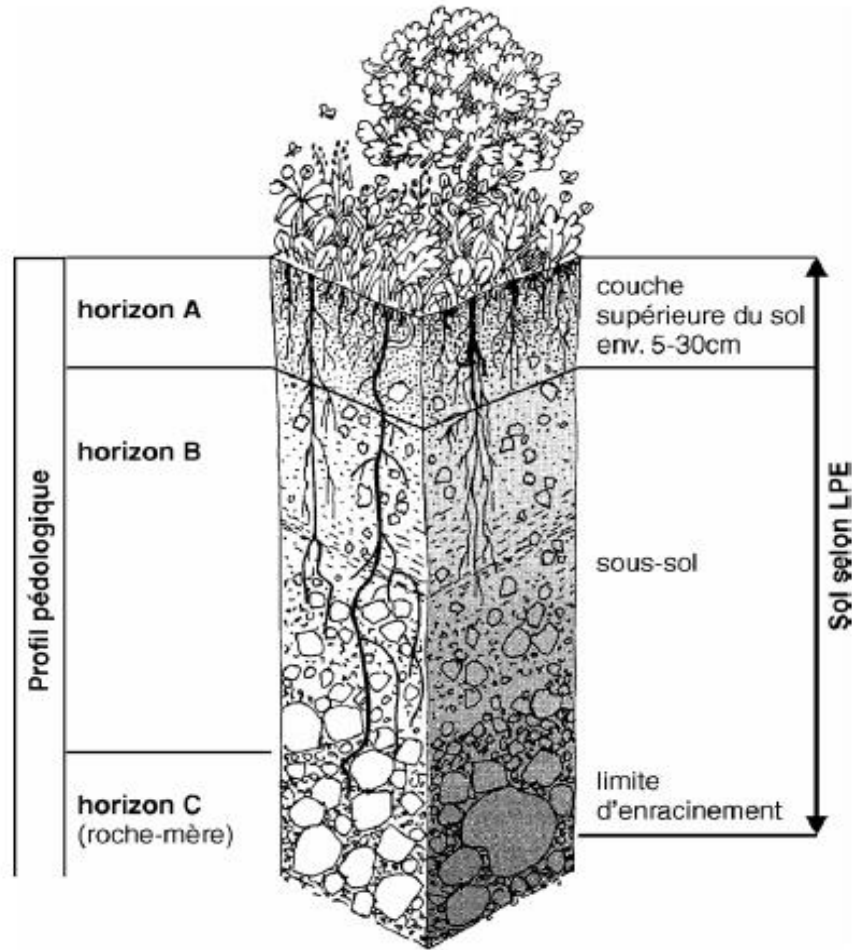
- Sondages à la tarière
- Réalisation de profils pédologiques
- Caractérisation des sols (type de sol, profondeur des horizons, texture, structure, hydromorphie, pierrosité, utilisation du sol,....)
- Analyses





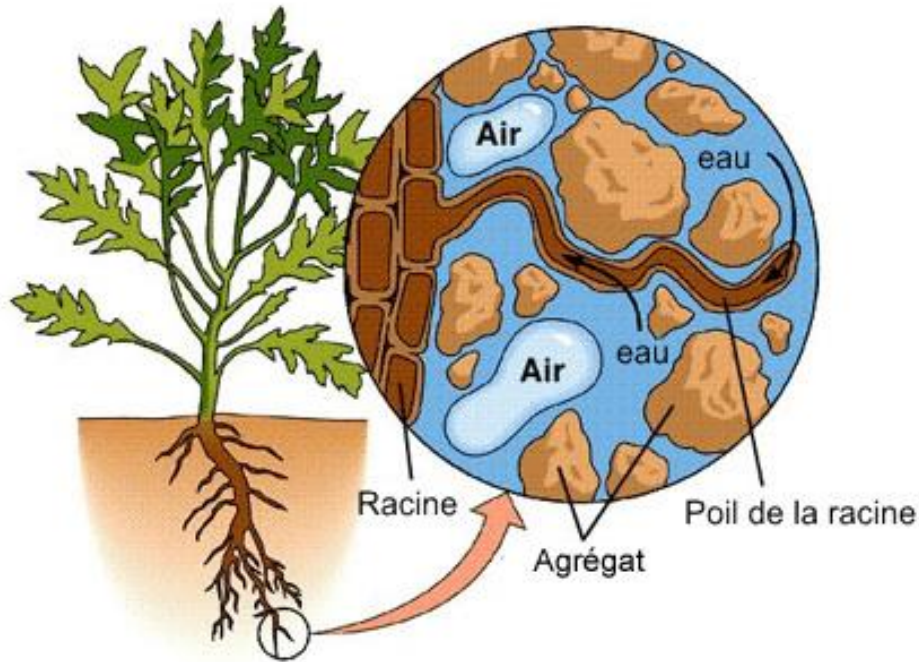
- **Horizon** : couche homogène de sol grossièrement parallèle à la surface du sol. Les horizons sont différents les uns des autres par leurs constituants, leur organisation et leur comportement. Ils sont dus aux transformations subies par le matériau depuis le début de son évolution (Gobat et al, 1998).





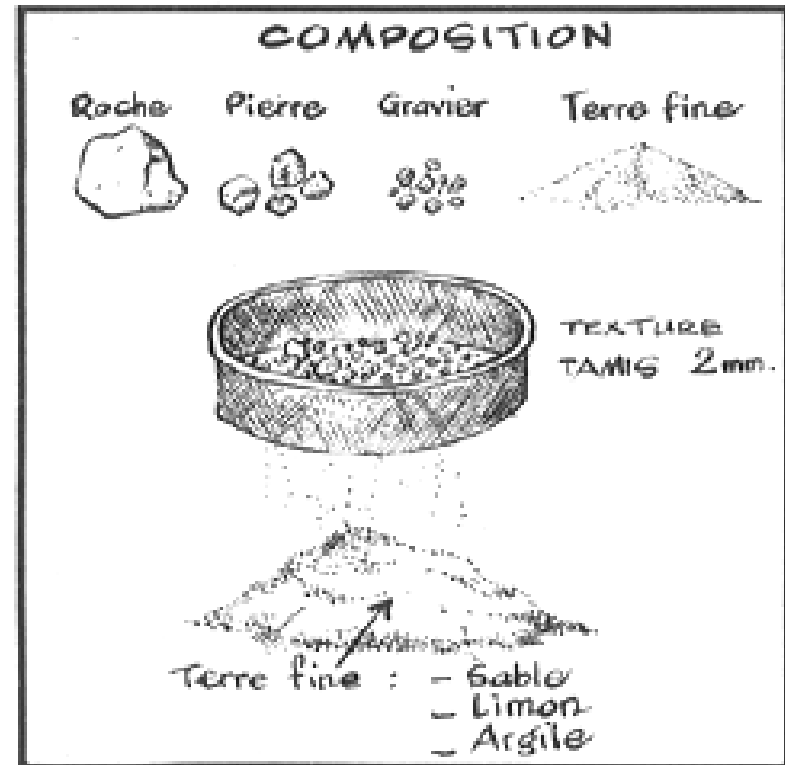
# Définitions

- **Structure** : mode d'assemblage des constituants du sol, minéraux et/ou organiques



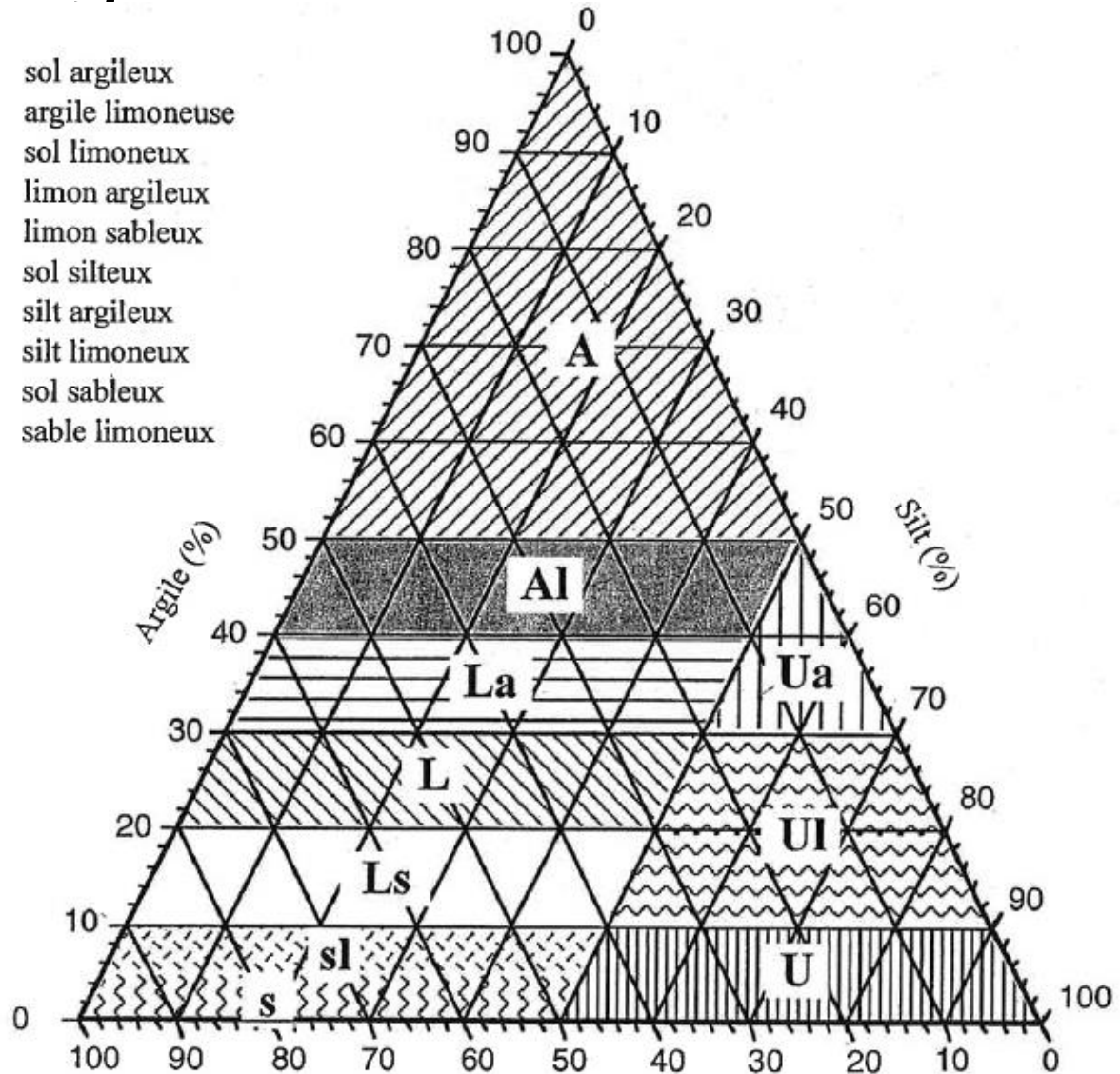
# Définitions

- **Texture** : propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine (<2 mm) :
  - Sable : 50-2'000  $\mu\text{m}$
  - Limon : 2-50  $\mu\text{m}$
  - Argile : < 2  $\mu\text{m}$

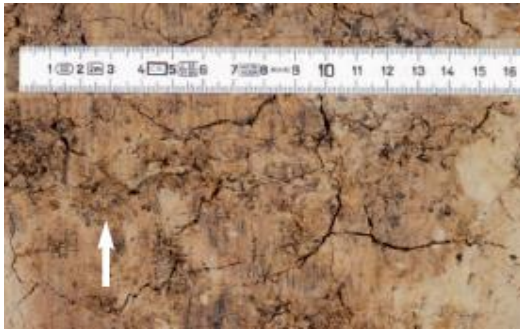


# Triangle des textures

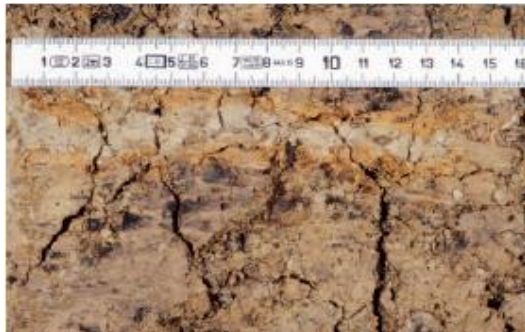
- A : sol argileux
- Al : argile limoneuse
- L : sol limoneux
- La : limon argileux
- Ls : limon sableux
- U : sol silteux
- Ua : silt argileux
- Ul : silt limoneux
- s : sol sableux
- sl : sable limoneux



- **Hydromorphie** : réduction et ségrégation locale du fer, par saturation permanente ou temporaire des pores par l'eau réductrice (Gobat et al, 1998)



Concrétions de manganèse : niveau d'hydromorphie le plus faible



Marmorisation / coloration rouge pâle : alternance de zones pâles et de zones couleur rouille due à des variations de densité

- Hydromorphie



Taches de rouille : problèmes d'aération de moyenne durée



Couleurs de réduction (gris-bleu) : saturation d'eau permanente

- La **compaction** du sol est provoquée par des compressions et cisaillements irréversibles, c'est-à-dire par des déformations plastiques.



# Caractérisation de l'état initial

- Élaboration d'une carte des sols

Chapitre Sol



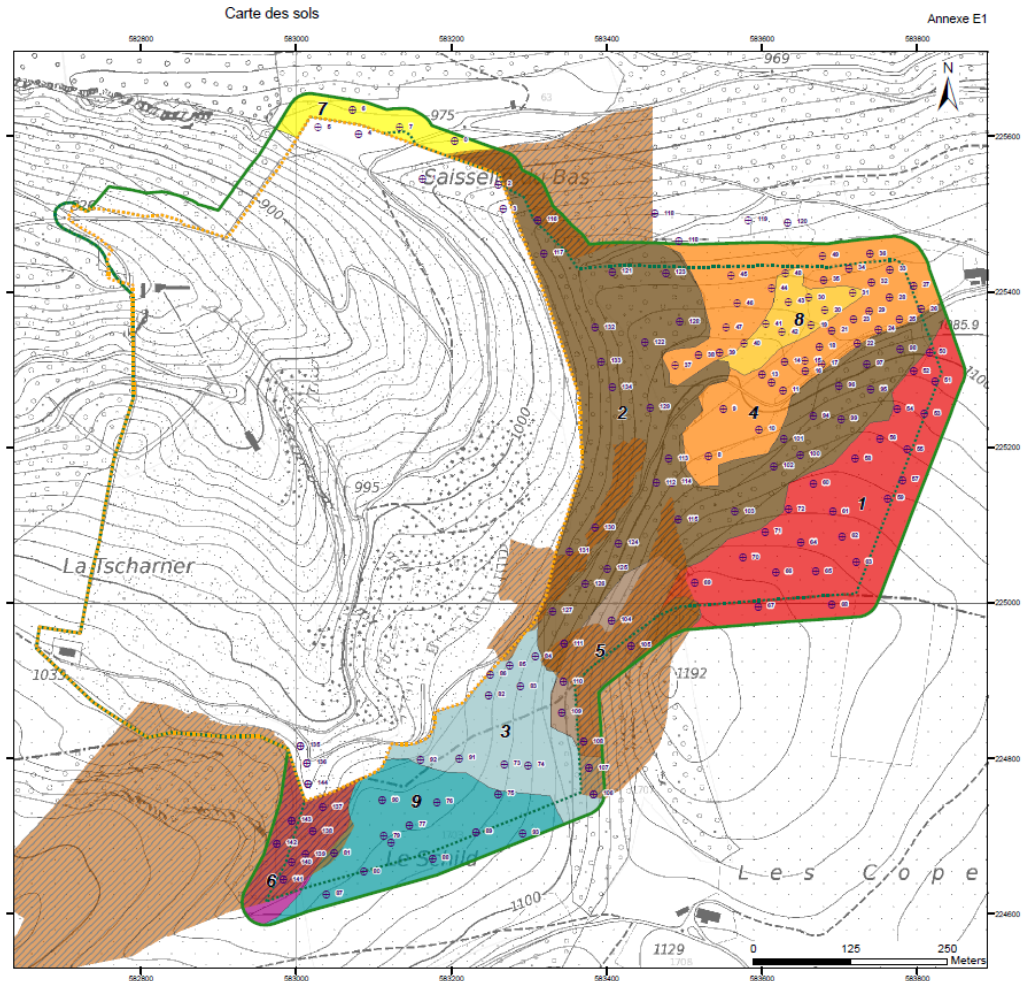
## Légende

### Contenu indicatif

- Périmètre plan de quartier (PQ)
- Périmètre d'exploitation PQ
- Périmètre d'exploitation de la carrière actuelle
- Éléments pare-vue
- Points sondages (avec numéro)

### Carte des sols

- 1 Rendzine brunifiée (RENDISOL pierreux humifère)
- 2 Rendzine à null (CALCOSOL pierreux humifère)
- 3 Sol brun acide (BRUNISOL limoneux oligosaturé)
- 4 Sol brun acide leptique (BRUNISOL limoneux humifère leptique)
- 5 Regosol (FEYROSOL pierrique humifère)
- 6 Sol brun calcaire (CALCOSOL pierreux humifère)
- 7 Rendzine (RENDOSOL pierreux humifère)
- 8 Rendzine (RENDISOL ou RENDOSOL humifère)
- 9 Sol brun acide ou Pseudogley (BRUNISOL limoneux ou BRUNISOL rédoxique à réductique)



# Caractérisation de l'état initial

Le risque qu'un sol soit **contaminé** dépend de l'utilisation précédente du terrain et de ses environs.

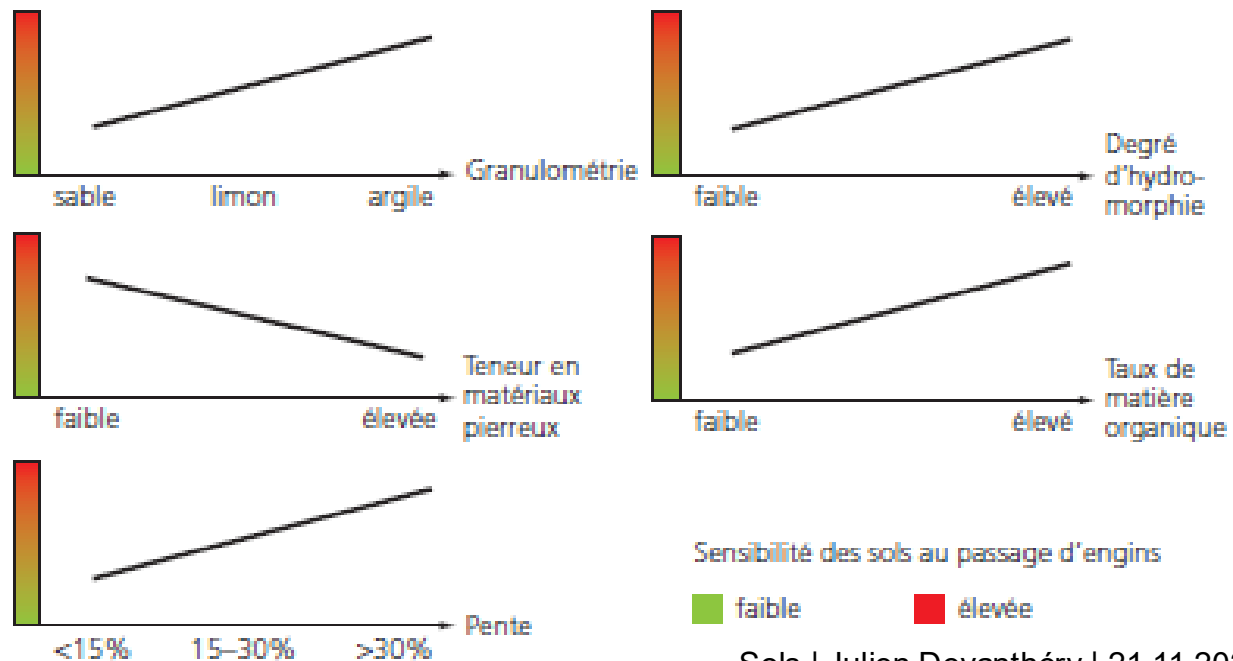
Analyses obligatoires si :

- sol présentant des **atteintes géogènes**;
- voisinage d'**anciennes installations d'incinération et de combustion**, de zones d'exploitation ou de complexe industriel qui ont dégagé d'importantes quantités de polluants par le passé;
- abords immédiats de **voies ferrées**, de **route à grand trafic** et de **pistes d'aéroports**;
- sols de **jardins familiaux**, de **vignes**, etc., où l'on a utilisé des matières auxiliaires contenant de fortes concentrations de polluants (compost, boues d'épuration, cendres, produits phytosanitaires,...);
- voisinage d'**ouvrage métalliques traités contre la corrosion** (pylônes, ponts, citernes non enterrées,...);
- **sites pollués** au sens de l'art.2, al.1, OSites : décharges, sites industriels, lieux d'accidents, installations de tir,...).

# Caractérisation de l'état initial

Études d'impact sur l'environnement

- Évaluation de la sensibilité des sols aux atteintes physiques (essentiellement compaction)
- Basée sur les paramètres relevés lors de la cartographie :
  - granulométrie
  - pierrosité
  - teneur en matière organique
  - régime hydrique et aération



# Évaluation des impacts

- Surfaces des emprises définitives / provisoires :
  - surfaces décapées
  - surfaces non décapées (pistes de chantier, installations, zones de dépôts,...)
- Volumes de sols touchés (horizon A et B)
- Bilan des matériaux terreux

Exemple : bilan de matériaux pour la remise en état d'une décharge

<i>Horizon</i>	<i>Volume décapé (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Volume nécessaire pour la remise en état (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Volume manquant (m<sup>3</sup>)</i>
Horizon A agricole	33'070	39'432	6'362
Horizon B agricole	14'505	52'576	38'071
Horizon A forestier	710	710	-
Horizon B forestier	810	810	-

# Évaluation des impacts

- exemple d'impacts sur les sols : travaux forestiers

Études d'impact sur l'environnement



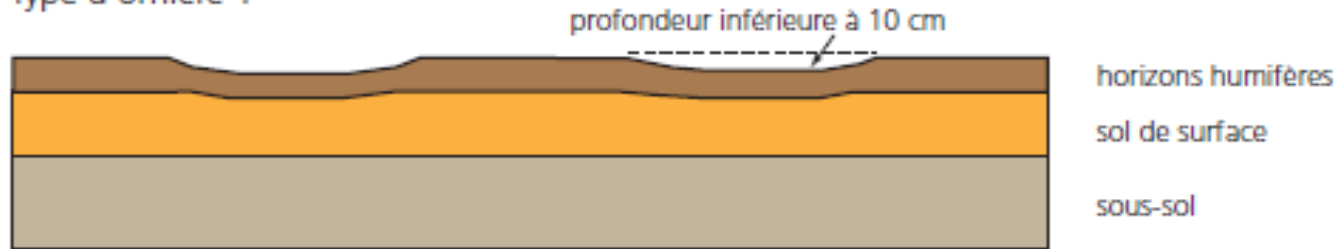
Source : WSL, 2009

# Évaluation des impacts

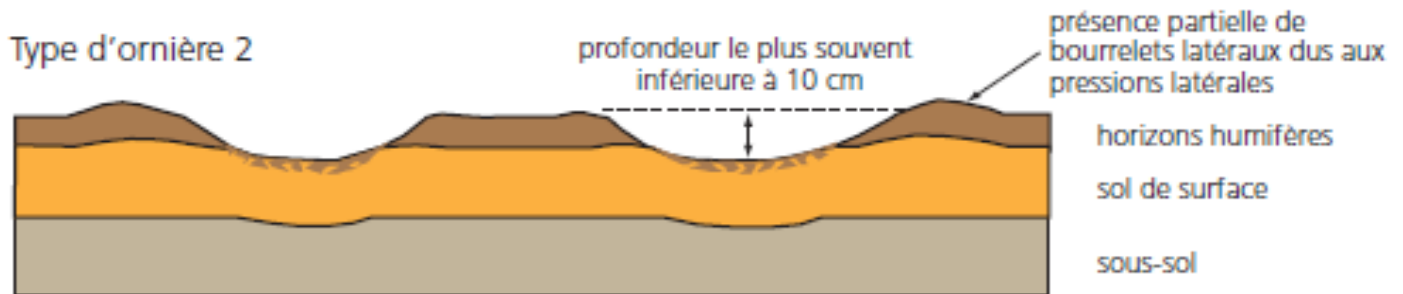
- exemple d'impacts sur les sols : travaux forestiers

Études d'impact sur l'environnement

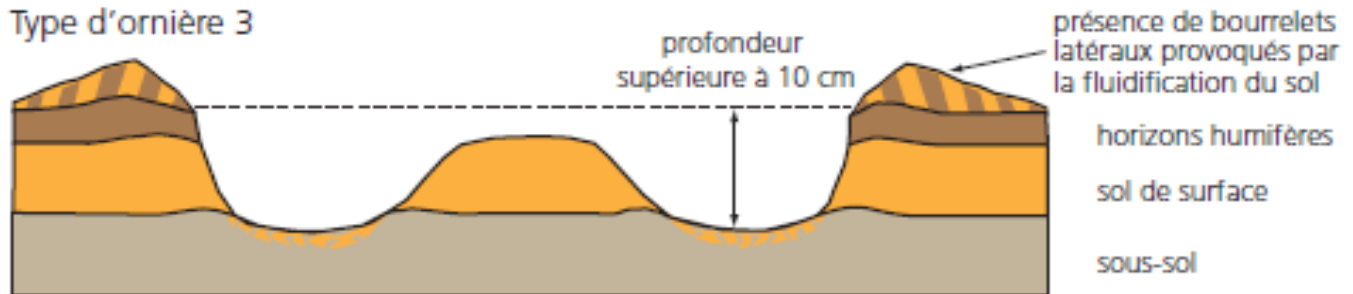
Type d'ornièrre 1



Type d'ornièrre 2



Type d'ornièrre 3



# EPFL Évaluation des impacts

- exemple d'impacts sur les sols : travaux agricoles



- exemple d'impacts sur les sols : chantiers

Études d'impact sur l'environnement

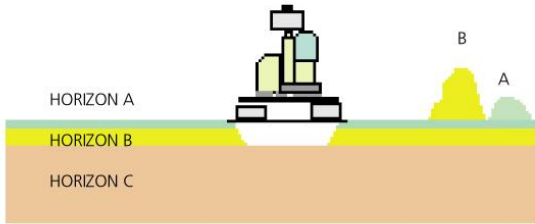


# Évaluation des impacts

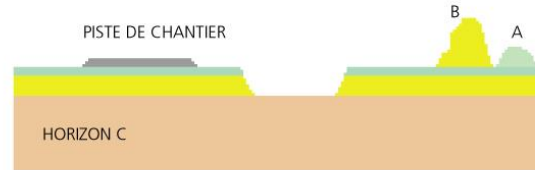
- exemple d'impacts sur les sols : remise en état après travaux sans semis...



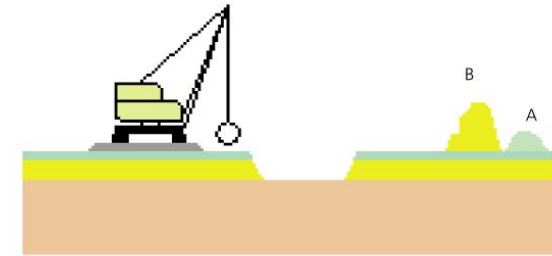
# EPFL Phase de chantier



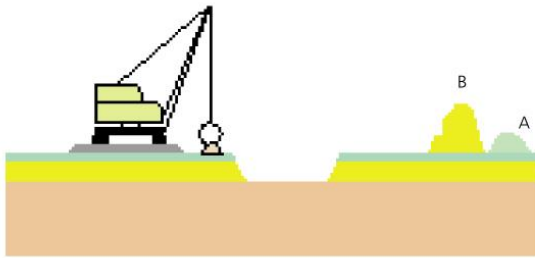
1. Préparation de la fosse avec une pelle rétro (décapage de l'horizon A et B)



2. Mise en place des mesures de répartition des charges (selon caractéristiques du sol)



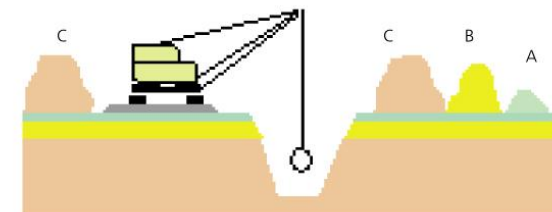
3. Mise en place des tubes



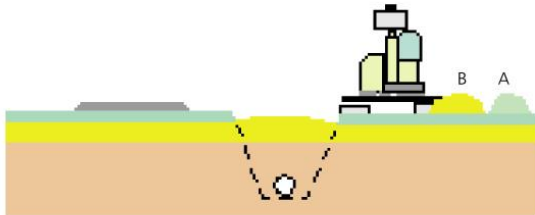
4. Soudure du gazoduc



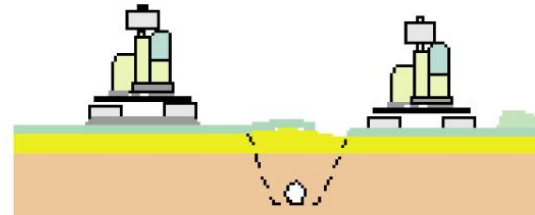
5. Excavation de la tranchée



6. Pose du gazoduc



7. Evacuation des matériaux excédentaires (horizon C), remblayage de la tranchée et mise en place de l'horizon B



8. Remise en place de l'humus et enlèvement de la piste de chantier



9. Remise en état final et ensemencement

- Principe de travail



Horizon A (terre végétale) :  
Riche en matière organique et vie du sol, peu sensible à la compaction  
**La majorité des travaux se font sur cet horizon**

Horizon B (sous couche = SOL!) :  
Pauvre en matière organique, très sensible à la compaction.  
**Toute circulation sur cet horizon est à proscrire**

Horizon C (substrat géologique ≠ sol)

# Phase de chantier

Etudes d'impact sur l'environnement

- Creuse des horizons A et B



- Mise en place de pistes renforcées pour la protection du sol



- Bardage des tubes, creuse de la fouille



# Phase de chantier

Etudes d'impact sur l'environnement

- Pose des tubes, soudures, contrôles



# Phase de chantier

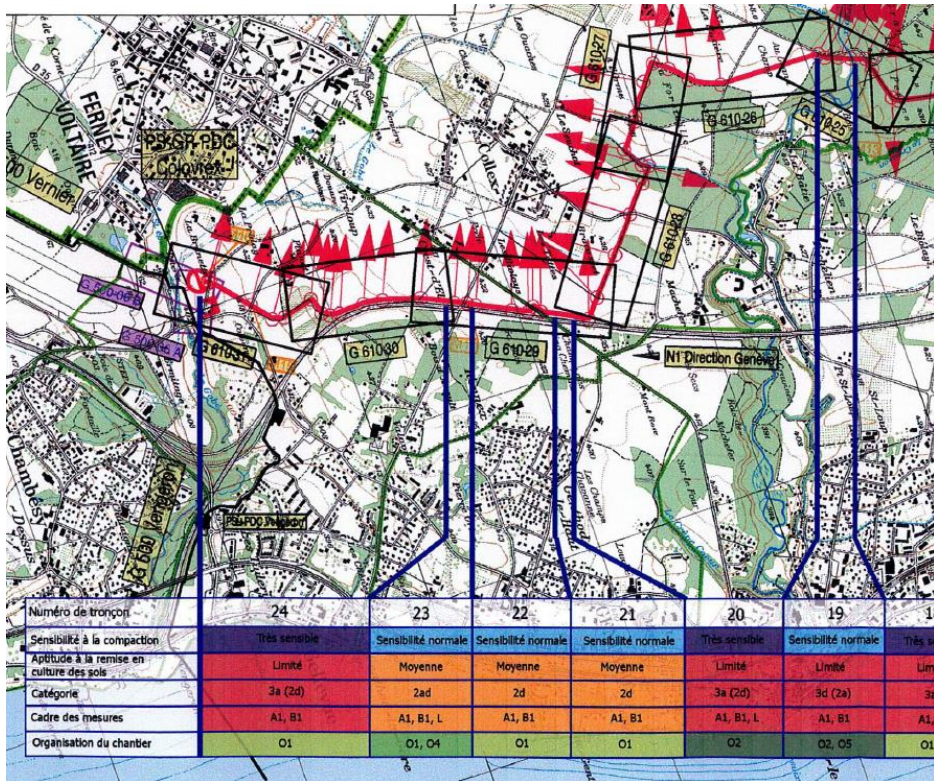
- Remblayage, remise en culture

Études d'impact sur l'environnement



- Suivi pédologique continu, dès les soumissions et jusque 3 ans après la remise en culture

Concept détaillé et plan de protection des sols

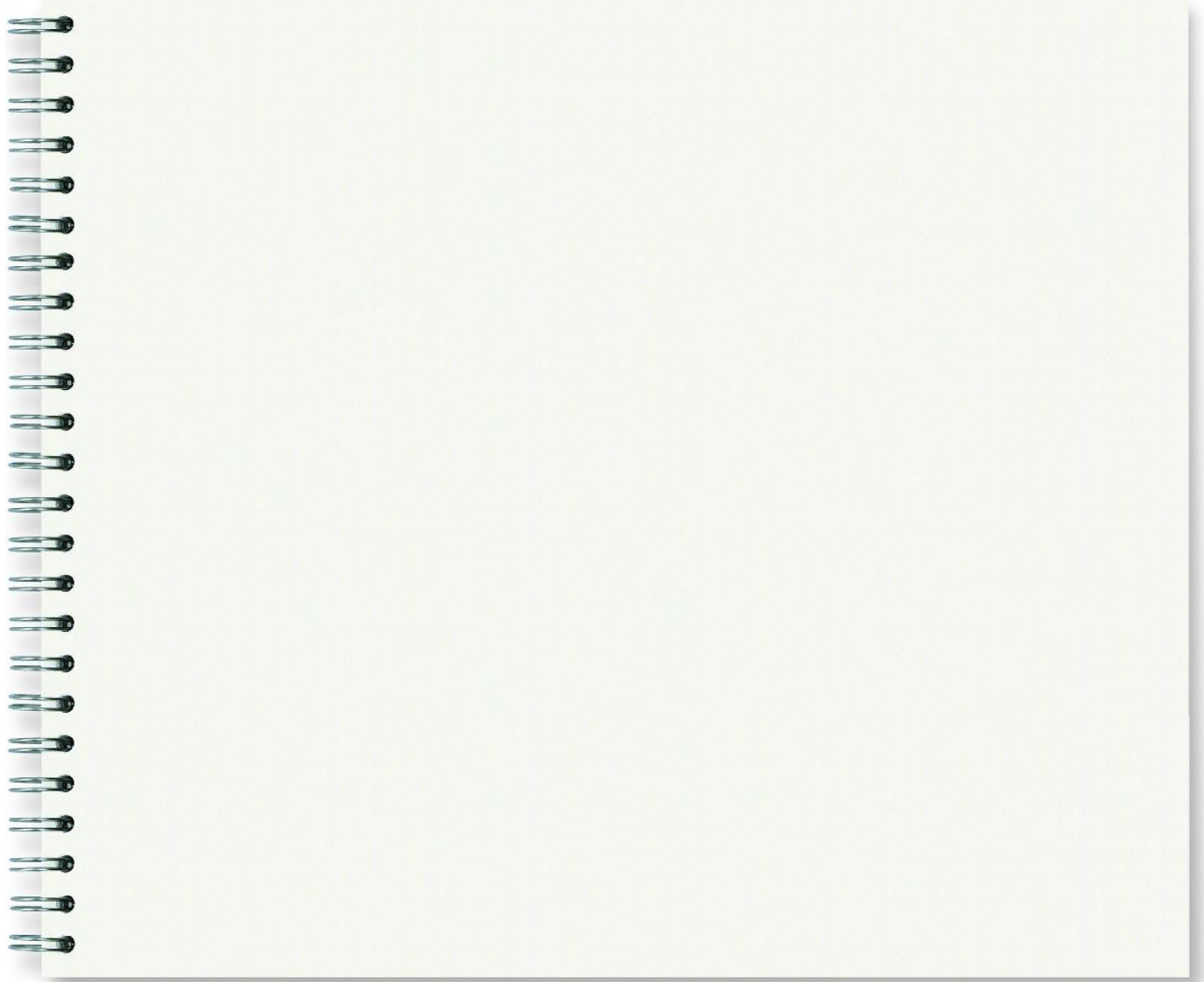


Suivi des travaux en continu, monitoring de la force de succion des sols, suivi hydrique manuel journalier





**Quelles mesures  
proposeriez-vous dans  
le domaine de la  
protection des sols dans  
le cadre du projet de  
gazoduc ?**



# Comment minimiser les impacts ?

- Utilisation rationnelle et parcimonieuse des emprises de chantier

Études d'impact sur l'environnement



# Comment minimiser les impacts ?

- Assurer en tout temps la couverture végétale des sols et maintenir leur activité biologique



# Comment minimiser les impacts ?

- Choix judicieux de machines de chantier (poids minimal, surface de contact adaptée, faible pression au sol)



Pelle mécanique à chenilles



Transporteurs sur chenilles

# Comment minimiser les impacts ?

- Choix judicieux de machines de chantier (poids minimal, surface de contact adaptée, faible pression au sol)



Tracteur + remorque à chenilles

# Comment minimiser les impacts ?

- Choix judicieux de machines de chantier (poids minimal, surface de contact adaptée, faible pression au sol)



Dumper

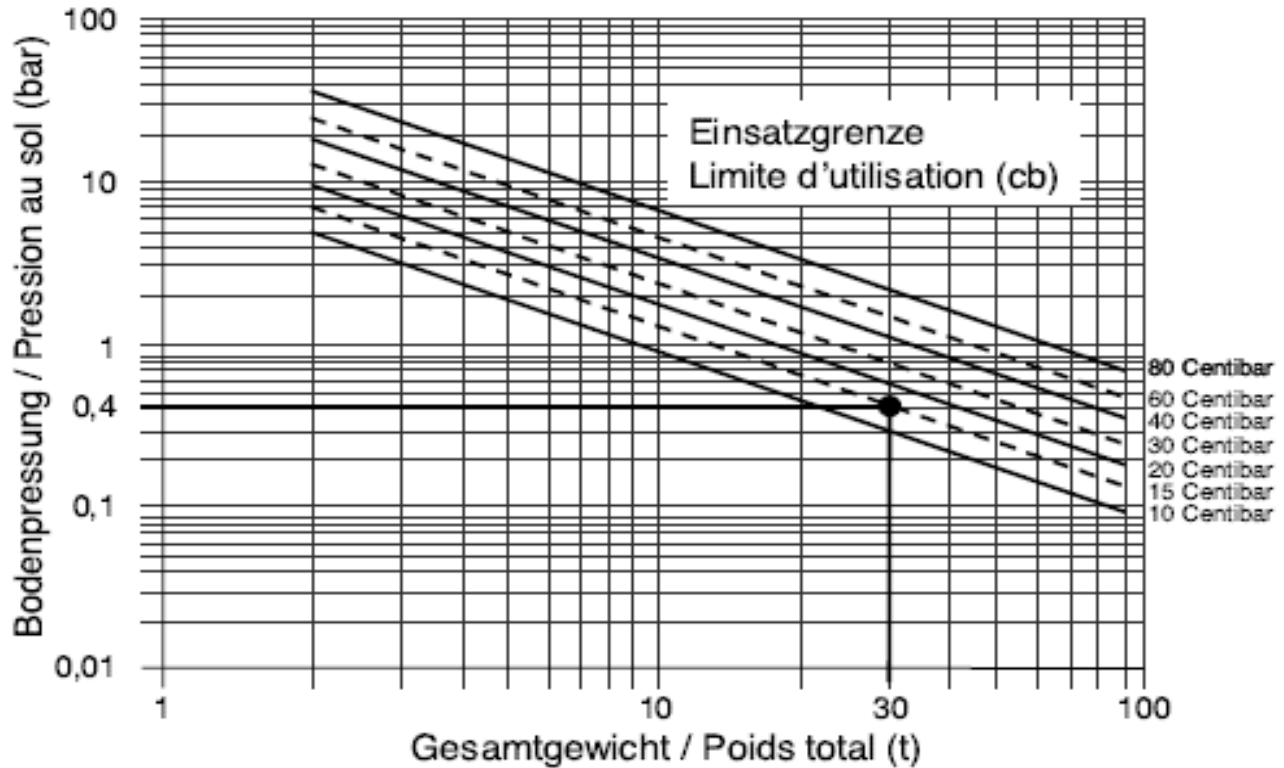


Chargeuse à pneus

# Comment minimiser les impacts ?

Etudes d'impact sur l'environnement

- Choix judicieux des machines de chantier



Einsatzgrenze [Cb] = Gesamtgewicht [t] x Bodenpressung [bar] x 1,25  
 Limite d'utilisation [Cb] = Poids total [t] x Pression au sol [bar] x 1,25

Source : VSS 640 583

# Comment minimiser les impacts ?

- Choix judicieux de la période du chantier : manipulation des sols en période sèche, lorsque les sols sont bien ressuyés (plus un sol est humide, plus il est facile de le compacter).



Pose de tensiomètres



# Comment minimiser les impacts ?

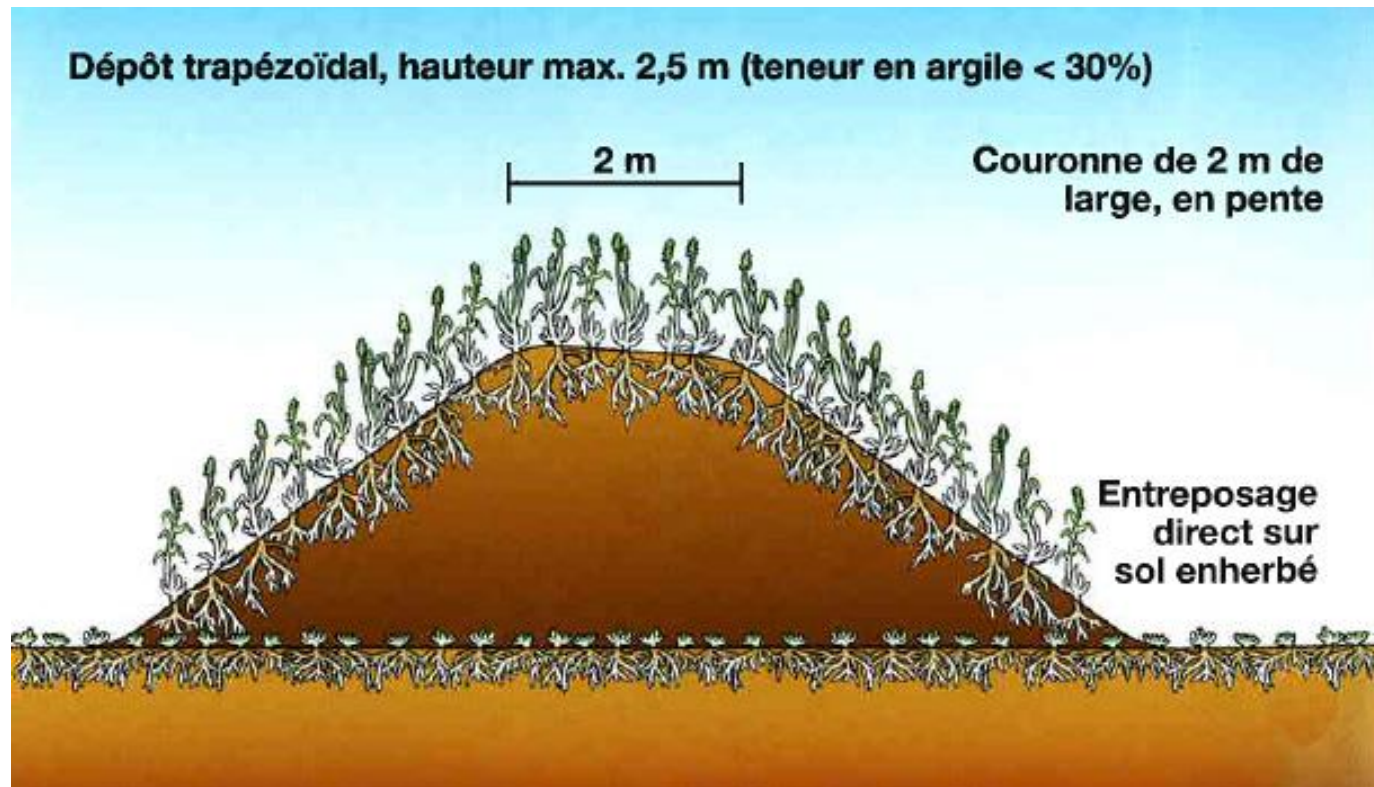
Études d'impact sur l'environnement

- Éviter toute manipulation inutile ou inadéquate des matériaux terreux



# Comment minimiser les impacts ?

- Entreposage des matériaux
- Impératif dans les cas où une surface découverte doit être reconstituée, c.-à-d. lorsque le sol doit être remis en culture, p.ex. pour l'agriculture ou la sylviculture



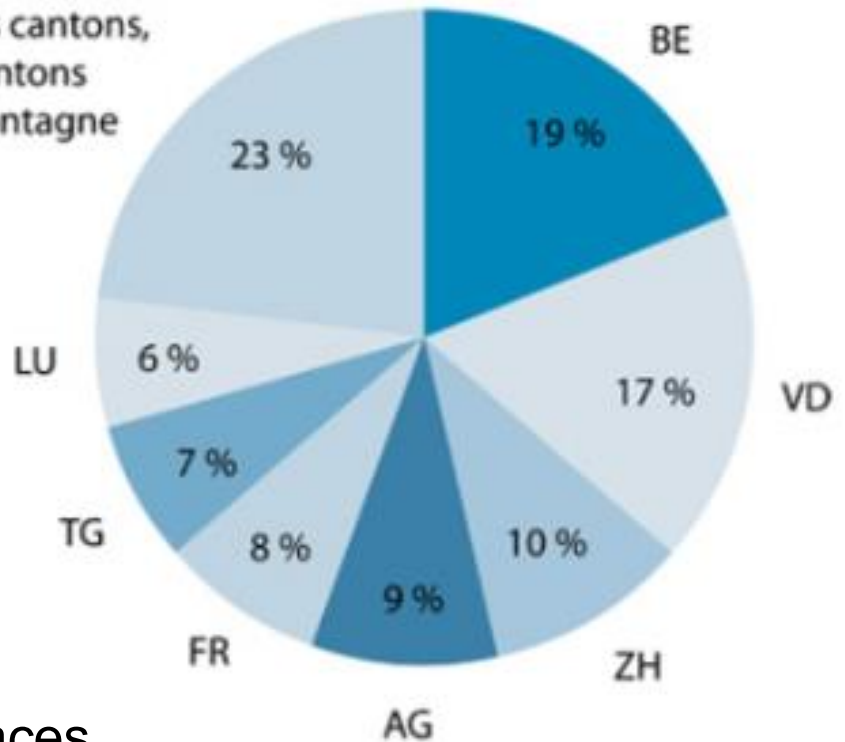
# SDA (surfaces d'assollement)

- Terres arables convenant le mieux à l'agriculture
- Terres protégées de toute construction qui doivent rester disponibles pour l'approvisionnement du pays à long terme
- Cartographie et chiffrage par les cantons (inventaires)
- Maintien du contingent par des mesures d'aménagement du territoire (LAT, plans sectoriels) – ARE compétent
- Bloquent actuellement de nombreux projets

# EPFL SDA - chiffres

- 438'460 ha en Suisse
- 40 % de la totalité des surfaces agricoles utiles (SAU) de la Suisse

Autres cantons,  
y c. cantons  
de montagne



# Plantes néophytes invasives

## Définitions :

- **Néophyte** : plante exotique (non indigène) introduite dès 1'500 après J.-C. et qui se reproduit à l'état sauvage
- **Espèce envahissante** : espèce qui se répand rapidement au détriment d'autres espèces caractéristiques d'un milieu naturel (changements significatifs de la composition floristique et faunistique du milieu)
- **Liste Noire** : liste des néophytes envahissantes de Suisse qui causent actuellement des dommages et dont la présence et l'expansion doivent être empêchées (40 espèces)
- **Watch-list** : liste des néophytes envahissantes de Suisse qui ont le potentiel de causer des dommages et dont l'expansion doit être surveillée et si nécessaire empêchée (16 espèces)

## Caractéristiques :

### Espèces très concurrentielles, à forte capacité de colonisation :

- Production de graines en grandes quantités
- Pouvoir de germination élevé
- Reproduction végétative
- Forte capacité de dispersion
- Croissance rapide
- Pouvoir de régénération
- Absence de prédateurs / maladies

## Principales bases légales :

- LPE : obligation générale de précaution (art. 1 et 29)
- LPN : régit le lâcher d'espèces étrangères (autorisation, art. 23)
  
- ODE :
  - Obligation générale de précaution (art. 1)
  - Protection des êtres vivants et biotopes sensibles (art. 15-16)
  - Monitoring, lutte et coûts (art. 51 à 53)
  - Liste des organismes envahissants interdits (Annexe 2)

> Quelques exemples



Solidage



Ambroisie



Impatiente  
glanduleuse

# Néophytes invasives

> Quelques exemples



Berce du Caucase



Renouée du Japon



Buddleia

# Néophytes invasives

- Espèces particulièrement présentes sur le plateau et le Jura

Études d'impact sur l'environnement



Robinier faux  
acacia



Laurier-cerise

# Néophytes invasives

- Espèces particulièrement présentes au sud des Alpes

Etudes d'impact sur l'environnement

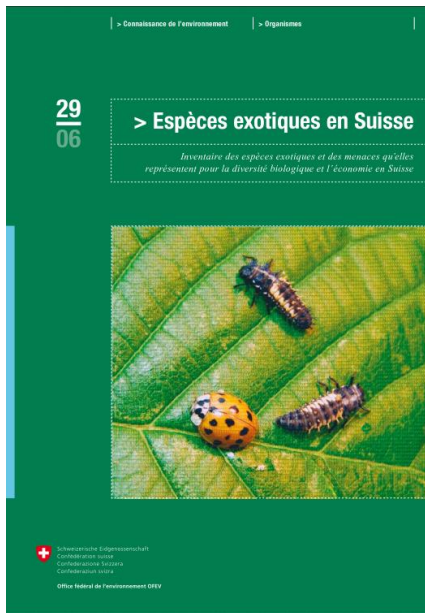


Souchet  
comestible



Palmier  
chanvre

## > Problèmes et risques



## Espèces exotiques en Suisse

*Inventaire des espèces et des menaces qu'elles représentent pour la diversité biologique et de l'économie en Suisse (Faune et flore)*

# Néophytes invasives

## > Problèmes et risques

**Santé humaine** : allergies pulmonaires (pollen de l'ambroisie), brûlures de peau (berce du Caucase),...



## > Problèmes et risques

**Économie** : perte financière (agriculture, bâtiments, santé publique,...)

- Concurrence pour la régénération forestière ;
- Augmentation des coûts d'entretien ;
- Perte de rendement dans l'agriculture, intoxication du bétail.



Bunias dans une prairie



Renouée le long d'un canal

# Néophytes invasives

> Problèmes et risques

**Ouvrages** : affaiblissement et érosion des berges

- Déstabilisation des berges, érosion



## > Problèmes et risques

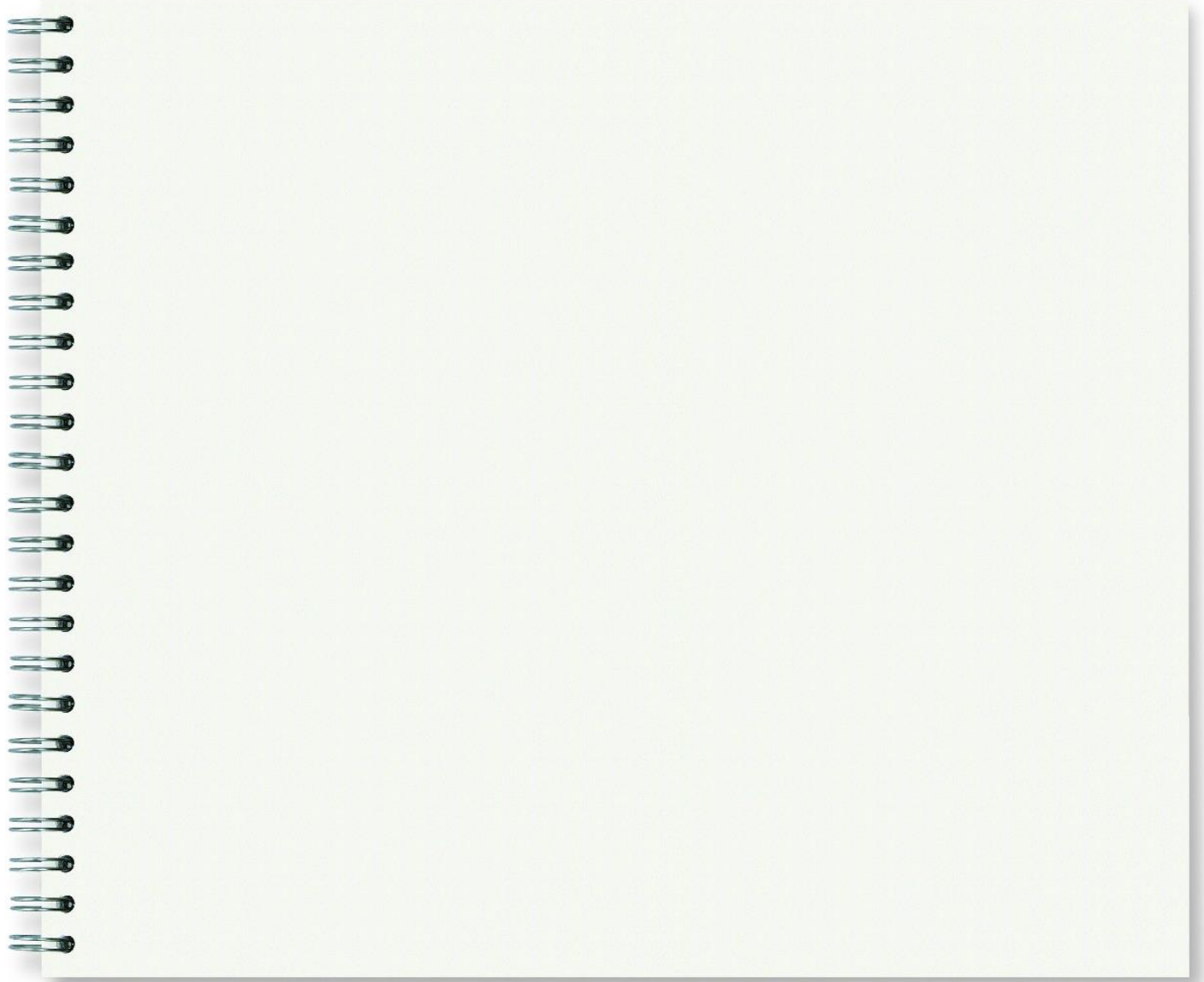
**Nature** : supplantation des espèces indigènes

- Compétition au niveau des ressources (nutriments, eau)
- Perturbation de la pollinisation (favorise les néophytes)
- Diminution de la biodiversité
- Banalisation du paysage





**Quelles mesures  
proposeriez-vous dans le  
domaine de la lutte contre  
les espèces invasives  
(aspects sol)?**



> Espèces principales :



**Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*)**

> Espèces principales :



**Renouée Sakhaline** (*R. sachalinensis*)



**Renouée hybride** (*R. x bohemica*)

> Espèces principales :

*Printemps*



*Hiver*



> Reproduction et mode de dispersion

**Reproduction généralement végétative, mais extrêmement efficace :**

- Rhizomes (tiges souterraines) : croissance de plusieurs mètres par an
- Bouturage à partir de fragments de tige ou de rhizome
- Développement possible avec des fragments de rhizome enfouis jusqu'à 3m !
- Dispersion par les cours d'eau (érosion, puis dépose à l'aval)
- Importante dispersion par l'homme (lors de travaux ou d'entretien de cours d'eau)

> Reproduction et mode de dispersion



Source : J.-P. Reygrobellet

→ **Propagation de l'amont vers l'aval** →

> Moyens de lutte mécaniques

### ***Arrachage***



- Jeunes pousses isolées
- Nouveaux foyers (pousses de l'année) - *nécessite des contrôles !*
- Attention à prélever l'ensemble du rhizome !

### ***Fauches répétées***



- Mai à septembre (ensemble de la période de végétation)
- Toutes les 3 semaines
- A renouveler pendant plusieurs années

### ***Fauches ponctuelles***



- 2 coupes / an
- 1<sup>ère</sup> coupe : juillet (juste avant floraison)
- 2<sup>e</sup> coupe : septembre

> Moyens de lutte mécaniques

***Excavation***

- Coûts importants, mais peuvent être rattachés à des travaux sécuritaires d'entretien (curage, réparation d'ouvrages)
- Suivi des zones excavées et arrachage des repousses éventuelles

***Autres : pâture, couverture (bâches), concassage/criblage***



- Filière adéquate pour l'élimination des matériaux contaminés (par exemple décharges agréées, enfouis à au moins 4m de profondeur)
- Grande précaution lors de l'excavation pour ne pas disséminer la renouée
- Les rhizomes peuvent aller jusqu'à 7m autour des foyers

## &gt; Moyens de lutte mécaniques - recommandations



- Enlever et éliminer l'intégralité du matériel végétal !
- Élimination par compostage ou méthanisation **thermophile** uniquement!
- Pas de compostage de jardin ou en bout de champs !
- Coupe : pas de machines qui déchiquettent les tiges



> Moyens de lutte mécanique – **A proscrire !!**



> Moyens de lutte chimiques

### ***Injection dans les tiges***



- Coupe de la tige sous le 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> nœud
- Elimination
- Injection de 3-7 ml de Glyphosate non dilué

### ***Aspersion foliaire***



- Coupe (juillet)
- Elimination
- Traitement des repousses à l'herbicide (Glyphosate, 10%)
- Contrôler et répéter les années suivantes

### ***Traitements interdits :***



- Traitement interdits à moins de 3 m des eaux superficielles, en zone forêt ou dans les réserves naturelles (ORRChim)
- Préférer l'injection à l'aspersion foliaire à proximité des cours d'eau (>3m)



**Impatiente glanduleuse (*Impatiens glandulifera*)**

> Reproduction et mode de dispersion

### Reproduction par graines :

- Jusqu'à 2'500 graines par plante
- Jusqu'à 30'000 graines par m<sup>2</sup>, dans des populations denses
- Pouvoir de germination des graines: environ 6 ans
- Graines éjectées à 7m par les fruits (capsules)
- Dispersion par l'eau vers l'aval

## &gt; Moyens de lutte

**Arrachage**

- Foyers de surface réduite
- Mois de mai (avant floraison)

**Fauche**

- Foyers de surface importante
- 3 coupes / an
- 1 ère fauche au mois de mai (avant floraison)



- Enlever et éliminer l'intégralité du matériel végétal !
- Elimination par compostage ou méthanisation **thermophile** uniquement!
- Pas de compostage de jardin ou en bout de champ !



**Berce du Caucase** (*Heracleum mantegazzianum*)

## Berce du Caucase



**Invasive !**

## Berce des prés



**Indigène**

> Reproduction et mode de dispersion

### Reproduction par graines :

- Jusqu'à 50'000 graines par plante
- Pouvoir de germination des graines : jusqu'à 7 ans
- Dispersion par le vent, l'eau (vers l'aval), les animaux



### Plante phototoxique :

- Contient des furanocumarines
- Contact avec la peau : brûlures de la peau au soleil

> Moyens de lutte



### ***Coupe de la racine***

- Coupe de la tige et élimination
- Coupe de la racine à environ 20 cm sous la surface du sol



### ***Aspersion foliaire***

- Coupe de la tige en laissant les feuilles du bas
  - Traitement par aspersion foliaire (Glyphosate, 10%)
- 
- La coupe de l'inflorescence avant la maturation des graines rend la plante vivace
  - Évacuation : incinération ou compostage/méthanisation **thermophile**
  - Protection de la peau contre le contact avec la plante lors de la lutte





**Buddleja de David (*Buddleja davidii*), arbre à papillons**

> Reproduction et mode de dispersion

Reproduction par graines :

- Environ 3'000'000 de graines par arbuste
- Pouvoir de germination des graines : jusqu'à 40 ans
- Fructification des jeunes plantes : dès les premières années
- Dispersion par le vent sur de grandes distances
- Dispersion par l'eau (vers l'aval)

> Moyens de lutte

### *Arrachage*



- Jeunes plants
- Pieds isolés et petits foyers
- Mars à août (avant la production de graines) !

### *Dessouchage*



- Buissons et arbustes
- Juin à septembre
- Prélever l'ensemble du système racinaire



- **Evacuation : incinération ou compostage/méthanisation thermophile**



**Solidage du Canada (*Solidago canadensis*)**

> Reproduction et mode de dispersion

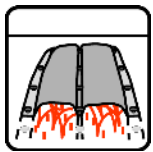
**Reproduction par graines et végétative:**

- Jusqu'à 300 tiges par m<sup>2</sup>
- Maximum de 20'000 graines par tige
- La viabilité des graines est courte (3 ans)
- Bonne dispersion des graines par le vent
- Les graines ne germent que sur les sols nus
- Reproduction végétative efficace

## &gt; Moyens de lutte

**Fauche**

- Spécialement adapté dans les stations plutôt humides et riches en nutriments
- coupe en mai/juin, pour favoriser des espèces concurrentielles
- 2 coupes / an peuvent être nécessaires au début
- Stations ensoleillées et chaudes: effectuer un travail du sol après la coupe en remontant les rhizomes à la surface, puis ensemercer (prairie sèche)

**Couverture**

- Couvrir le sol avec un plastique noir après la coupe
- Ensemercer le sol nu avec un mélange d'espèces concurrentielles
- **Elimination par compostage ou méthanisation thermophile uniquement!**
- **Pas de compostage de jardin ou en bout de champs !**



## > Conclusions

### *Prévention*

- Informer et sensibiliser les personnes responsables de l'entretien
- Informer la population (par exemple si dépôts illicites), proposer des actions concrètes (lutte)

### *Endiguer l'avancement et nouvelles introductions*

- Contrôles (nouveaux foyers, dépôts)
- Eradication des nouvelles populations

### *Lutte active*

- Stopper/limiter le développement (lutte mécanique (fauche))
- Faire régresser et disparaître les foyers (luttés mécaniques, chimiques)

# Points importants à retenir

- Différence entre sols et matériaux d'excavation
- Caractérisation des sols
- Mesures nécessaires à la préservation de la fertilité des sols
- Importance croissante de la problématique « néophytes »