

# Agir sur la végétation pour réduire les risques liés aux dépôts de déchets miniers : Approche écotecnologique sur le terril du Défens (OHM Bassin Minier de Provence)



## Master 2 Biodiversité, Ecologie et Evolution parcours Ingénierie Ecologique – Promotion 2018-2019

Pitout M., Tosini L., Bergeon A., Blot S., Caoudal L., Fitouri S., Guez A., Marie-dit Asse L., Martin L., Roux S., Farnet A.-M., Foli L., Folzer H., Salducci M.-D., Prudent P., Vassalo L., Labrousse Y., Laffont-Schwob I.



© Ville de Meyreuil

master BEE



Séminaire de l'OHM-BMP – 15 novembre 2019

## Master Biodiversité, Ecologie et Evolution Parcours Ingénierie Ecologique

master BEE



Master Biodiversité, Ecologie et Evolution  
Parcours Ingénierie Ecologique

master BEE



+

Observatoire Homme et Milieux du  
Bassin Minier de Provence (OHM BMP)



Master Biodiversité, Ecologie et Evolution  
Parcours Ingénierie Ecologique

master BEE



+

Observatoire Homme et Milieux du  
Bassin Minier de Provence (OHM BMP)

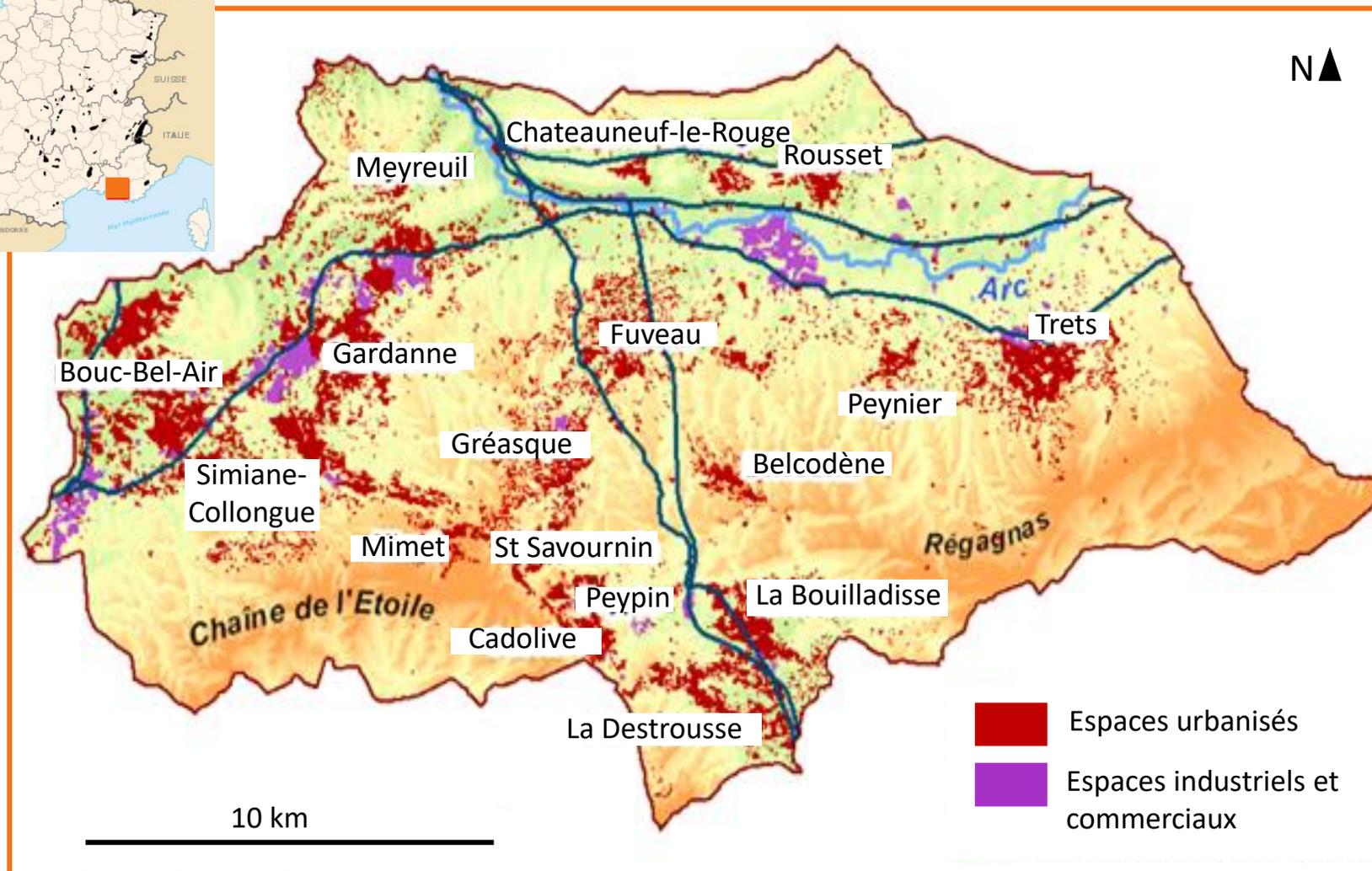


→ Réalisation d'une étude sur les aléas liés au terril du Défens

→ Connaissances et compétences, réseau d'acteurs

→ Gestion environnementale

# Le Bassier Minier de Provence (BMP) : un territoire marqué par l'exploitation passée du lignite



## Le territoire du BMP :

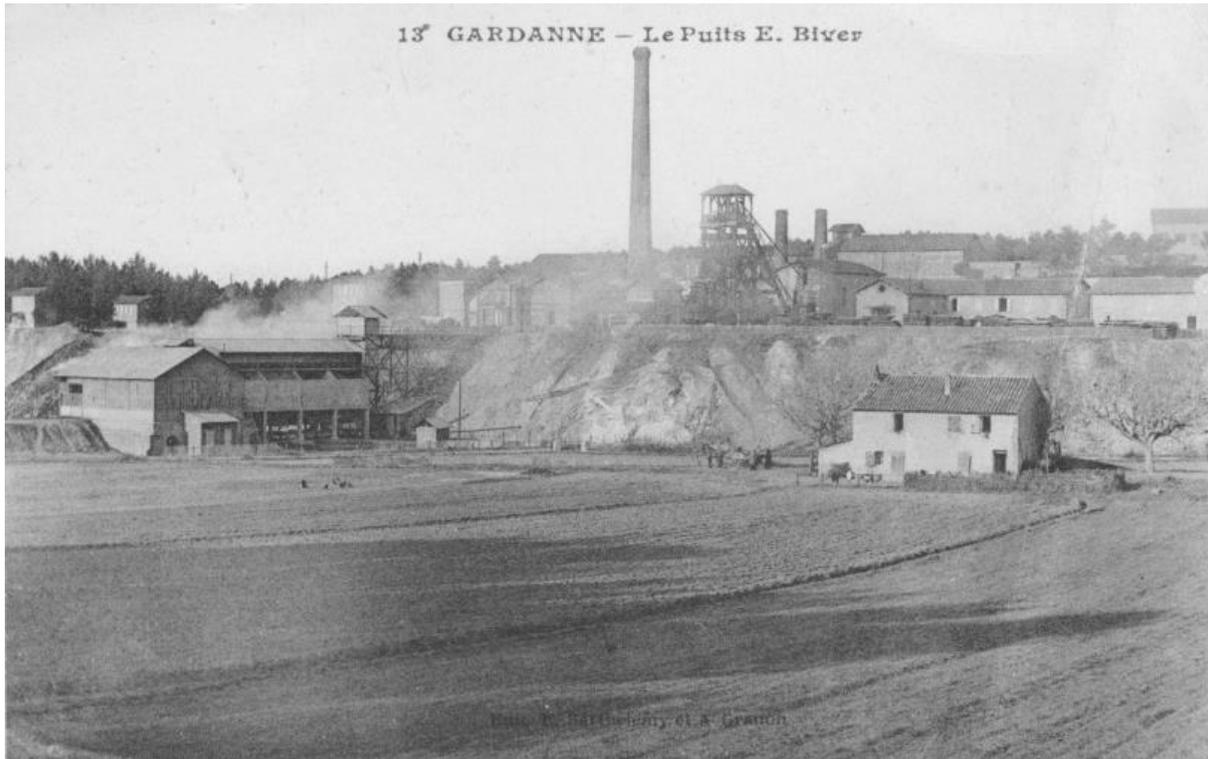
- 17 communes entre Aix-en-P<sup>ce</sup> et Marseille
- 335 km<sup>2</sup>
- 100 000 habitants

(OHM BMP)

Cartographie du Bassin Minier de Provence (Source : OHM BMP)

# Le Bassin Minier de Provence (BMP) : un territoire marqué par l'exploitation passée du lignite

**Exploitation industrielle du lignite dans le BMP aux XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles** (Daumalin et al., 2003)



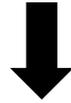
Le puits E. Bivers (Gardanne)



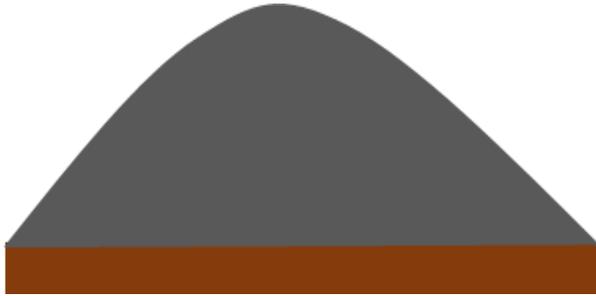
Sortie d'une galerie reliée au puits E. Bivers (Gardanne)

# Le Bassier Minier de Provence (BMP) : un territoire marqué par l'exploitation passée du lignite

**Exploitation industrielle du lignite dans le BMP aux XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles** (Daumalin et al., 2003)



**Terril =**

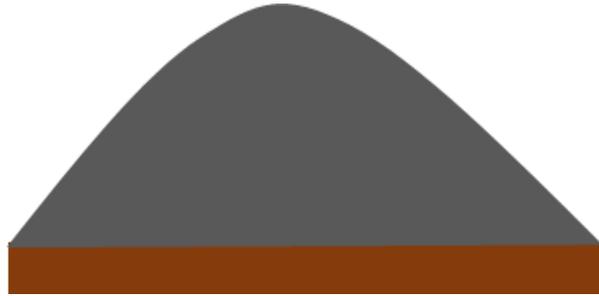


Dépôt de déchets issus de  
l'exploitation minière contenant  
pas ou trop peu de charbon pour  
être exploités (Beets, 2009)

# Le Bassier Minier de Provence (BMP) : un territoire marqué par l'exploitation passée du lignite

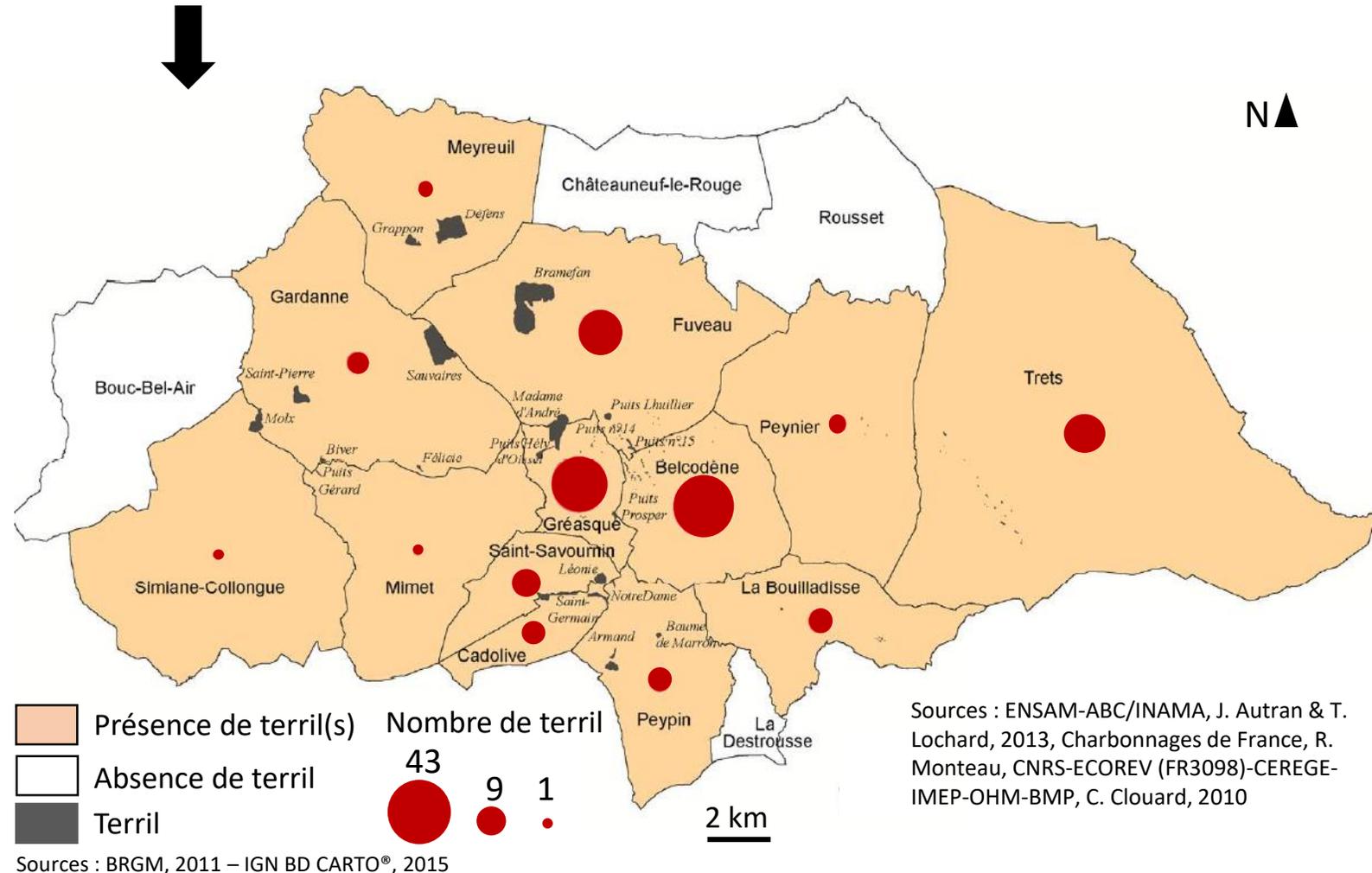
Exploitation industrielle du lignite dans le BMP aux XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles (Daumalin et al., 2003)

Terril =



Dépôt de déchets issus de l'exploitation minière contenant pas ou trop peu de charbon pour être exploités (Beets, 2009)

**165 terrils sur le territoire du BMP**



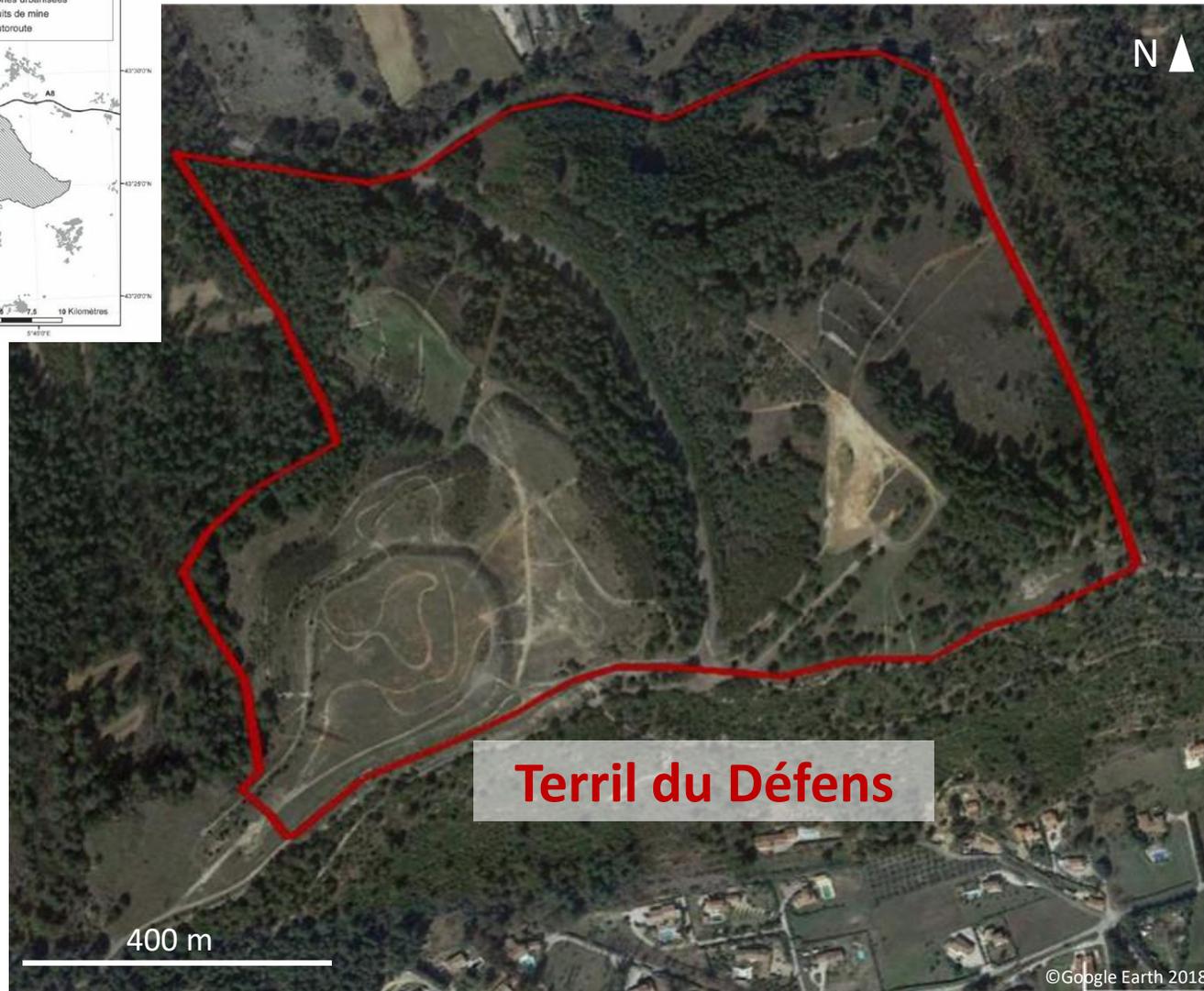
Sources : ENSAM-ABC/INAMA, J. Autran & T. Lochard, 2013, Charbonnages de France, R. Monteau, CNRS-ECOREV (FR3098)-CEREGE-IMEP-OHM-BMP, C. Clouard, 2010

Cartographie du nombre de terrils par commune dans le Bassin Minier de Provence (CNRS – Ecorev (FR3098)/ OHM-BMP, J.C. Raynal, 2015)

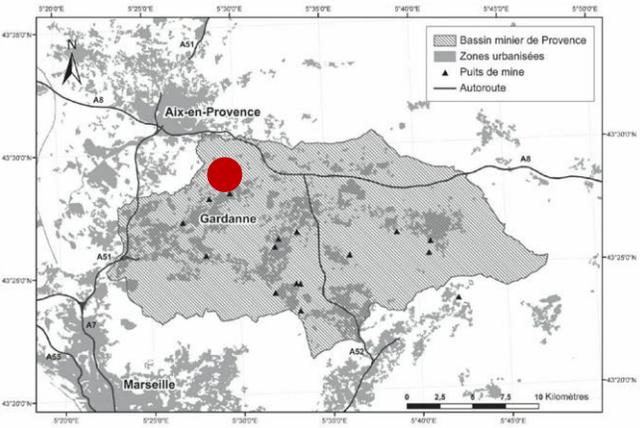
# Le terril minier du Défens

## Le terril du Défens :

- commune de Meyreuil
- terril tabulaire de 52 ha
- dépôts de déchets miniers de 1952 à 1978

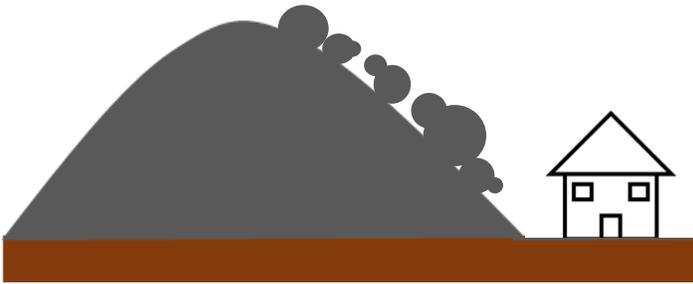


Délimitation du terril du Défens (Meyreuil)



© S. Robert & P. Batteau

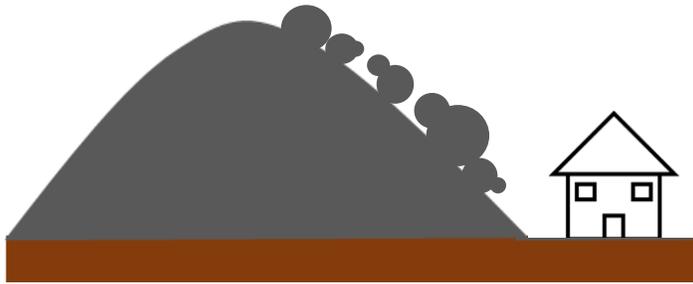
## Plusieurs aléas identifiés sur ce terril ....



Glissements de terrain  
superficiels

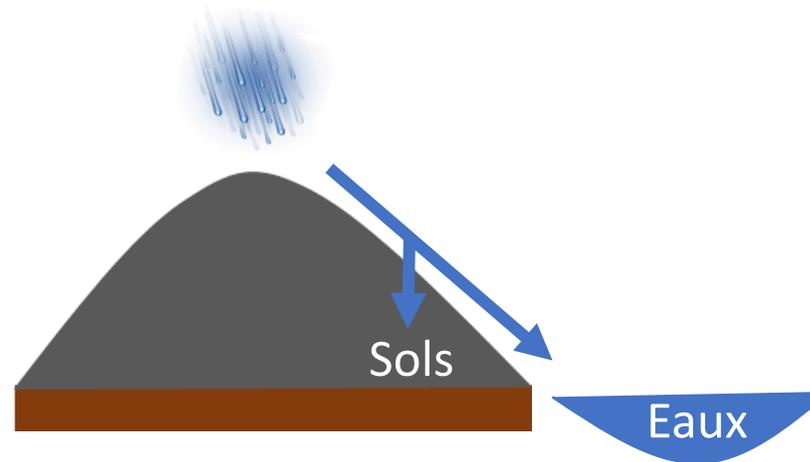
(Geoderis, 2016)

## Plusieurs aléas identifiés sur ce terril ....



Glissements de terrain  
superficiels

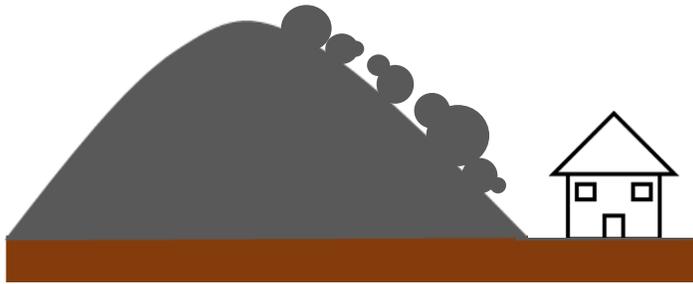
(Geoderis, 2016)



Transfert de contaminants par  
ruissellement des eaux

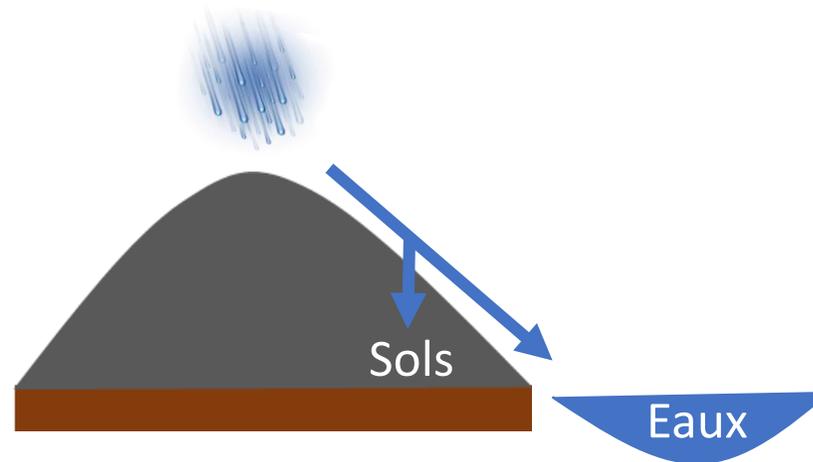
(Banks *et al.*, 1997)

## Plusieurs aléas identifiés sur ce terril ....



Glissements de terrain  
superficiels

(Geoderis, 2016)



Transfert de contaminants par  
ruissellement des eaux

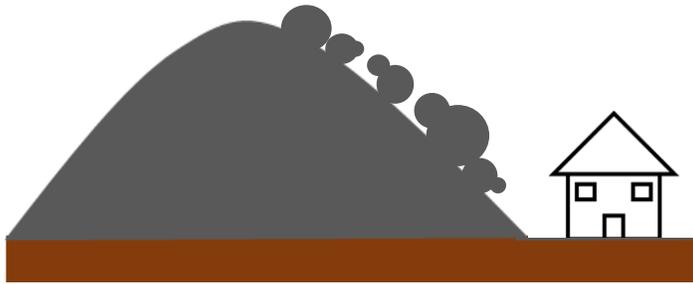
(Banks *et al.*, 1997)



Incendie

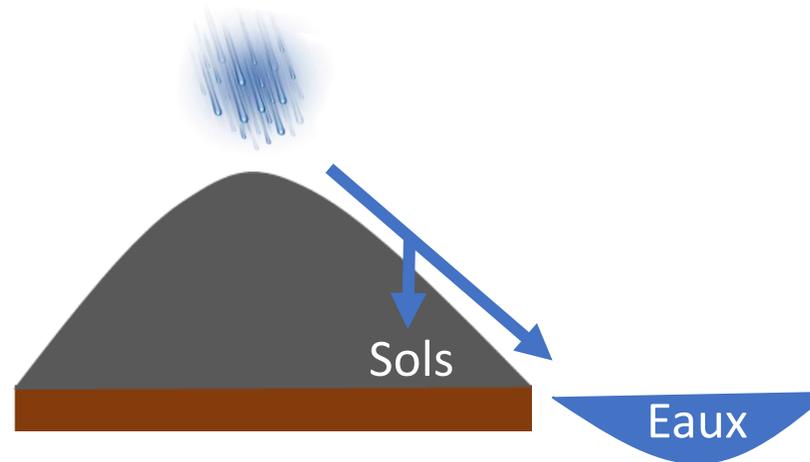
(Thiery *et al.*, 2013)

## Plusieurs aléas identifiés sur ce terril ....



Glissements de terrain  
superficiels

(Geoderis, 2016)



Transfert de contaminants par  
ruissellement des eaux

(Banks *et al.*, 1997)



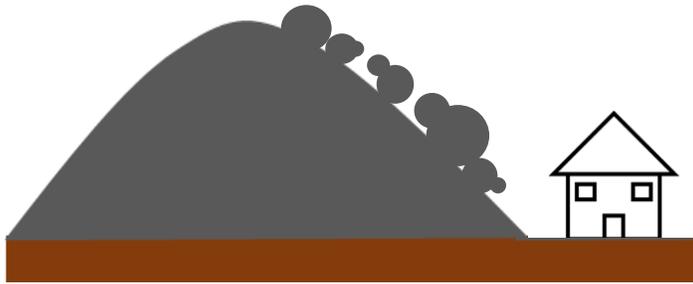
Incendie

(Thiery *et al.*, 2013)

## ... en lien avec plusieurs enjeux

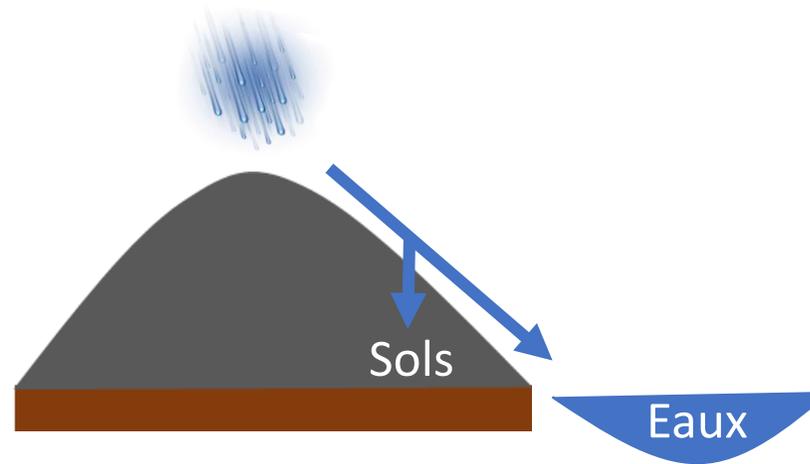
Environnementaux (qualité de l'eau, préservation de la biodiversité)

## Plusieurs aléas identifiés sur ce terril ....



Glissements de terrain  
superficiels

(Geoderis, 2016)



Transfert de contaminants par  
ruissellement des eaux

(Banks *et al.*, 1997)



Incendie

(Thiery *et al.*, 2013)

## ... en lien avec plusieurs enjeux

Environnementaux (qualité de l'eau, préservation de la biodiversité)

Humains (sécurité, loisirs, patrimoine)

## Mise en sécurité : installation d'un sarcophage (2002)



Stériles miniers :  
contaminants divers

- Instabilité
- Auto-combustion
- Dispersion des contaminants des stériles

## Mise en sécurité : installation d'un sarcophage (2002)



Terre de remblais

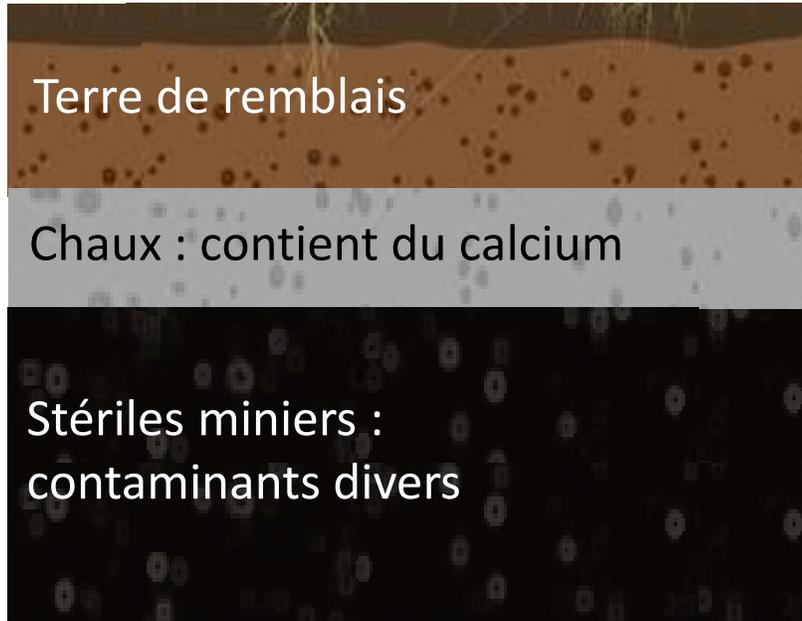
Chaux : contient du calcium

Stériles miniers :  
contaminants divers

} Sarcophage

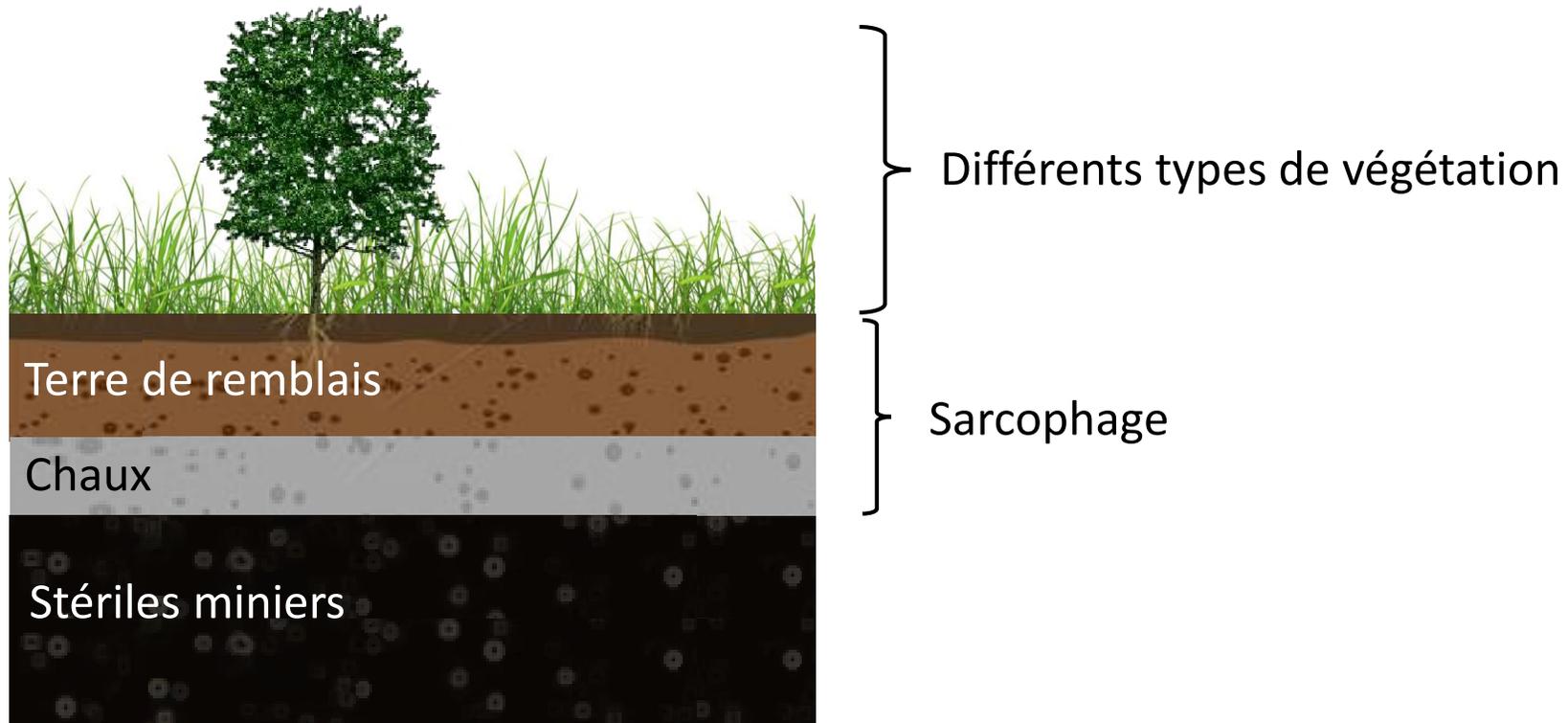
- Instabilité
- Auto-combustion
- Dispersion des contaminants des stériles

## Mise en sécurité : installation d'un sarcophage (2002)

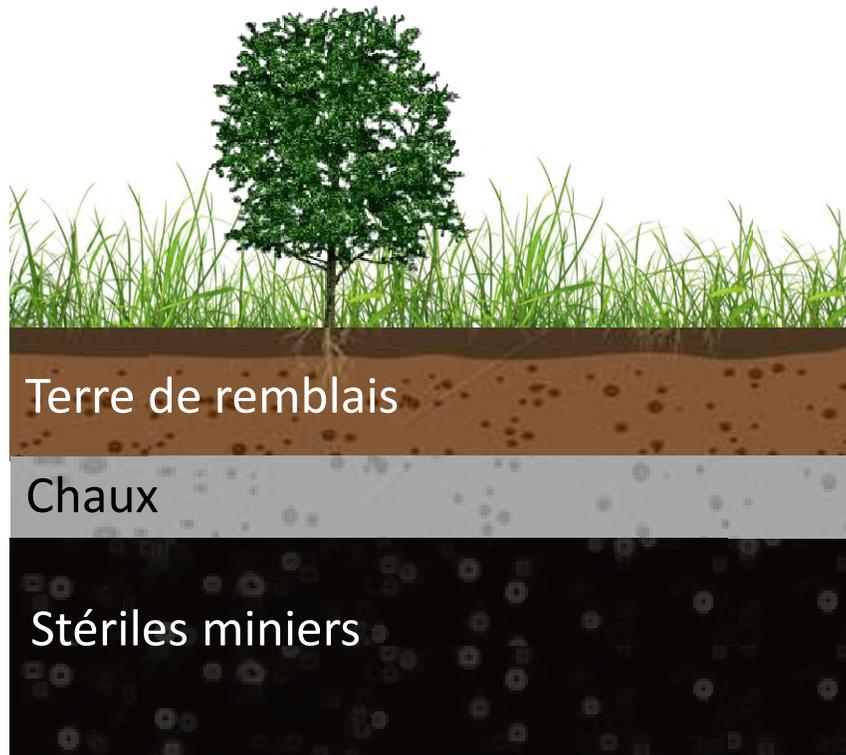


- Sarcophage
  - Stabilisation
  - Limite contact air - stériles
  - Limite contact eaux - stériles
- Instabilité
- Auto-combustion
- Dispersion des contaminants des stériles

## Végétalisation des pentes du terril



## Végétalisation des pentes du terril



### Végétation plantée → Stabilisation



Pinède  
(Pin d'Alep : *Pinus halepensis*, depuis 1971)



Spartiaie  
(Genêt d'Espagne : *Spartium junceum*, 2010)

## Végétalisation des pentes du terril



## Végétation spontanée



Pelouse

## Végétalisation des pentes du terril



### Absence de végétation



Substrat nu

## Aménagement d'ouvrages hydrauliques

Installations de bassins → Régulation du ruissellement des eaux (BRGM/RP-60657-FR)

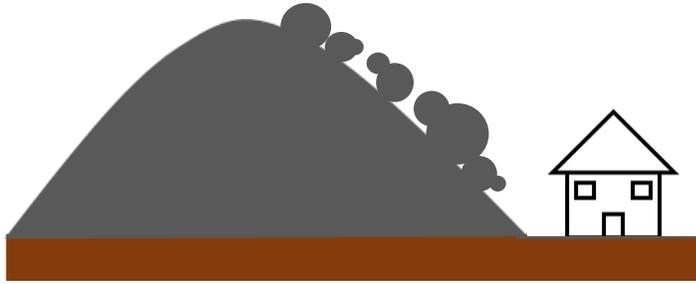


Bassin Est : bassin de rétention (2002)



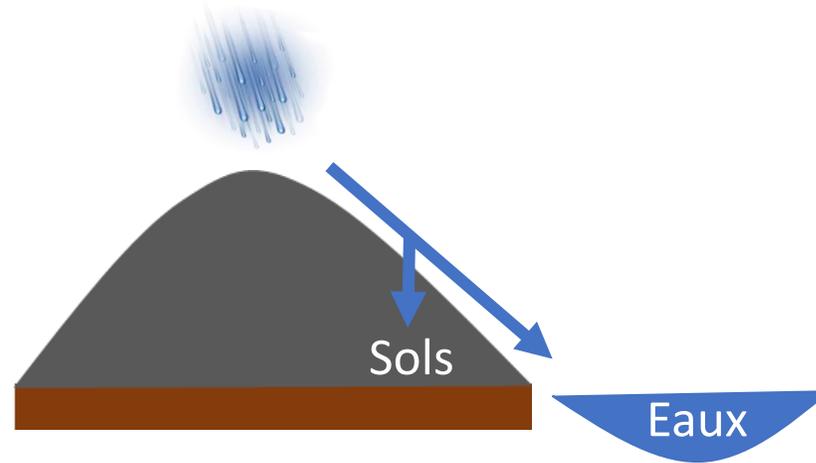
Bassin Ouest : bassin de transit (avant 2002)

# Objectifs de l'étude



Glissements de terrain  
superficiels

(Geoderis, 2016)



Transfert de contaminants par  
ruissellement des eaux

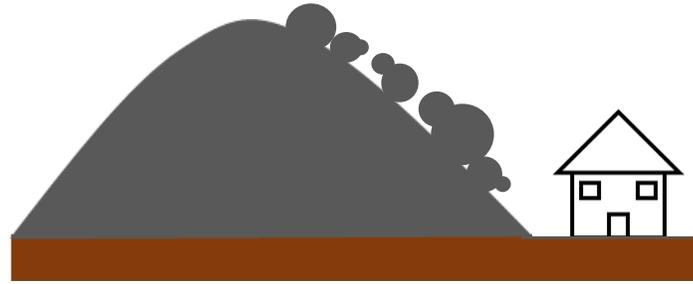
(Banks *et al.*, 1997)



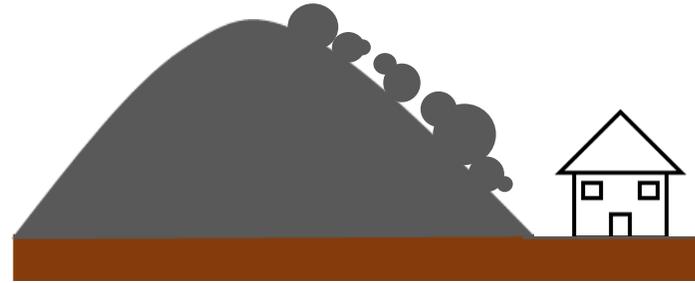
Incendie

(Thiery *et al.*, 2013)

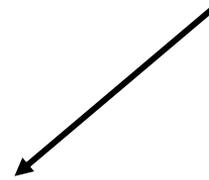
- Effets des différents types de végétation sur les aléas liés au terril ?
  - Comment agir sur la végétation pour limiter ces aléas ?



**Effet des différents types de végétation sur la stabilisation des pentes du terril ?**



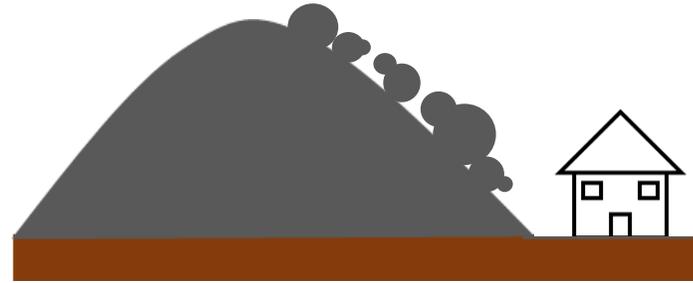
**Effet des différents types de végétation sur la stabilisation des pentes du terril ?**



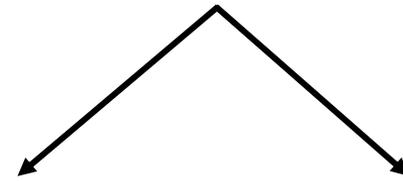
Répartition des différents types de végétation sur le terril



© Google Earth, 2018



## Effet des différents types de végétation sur la stabilisation des pentes du terril ?

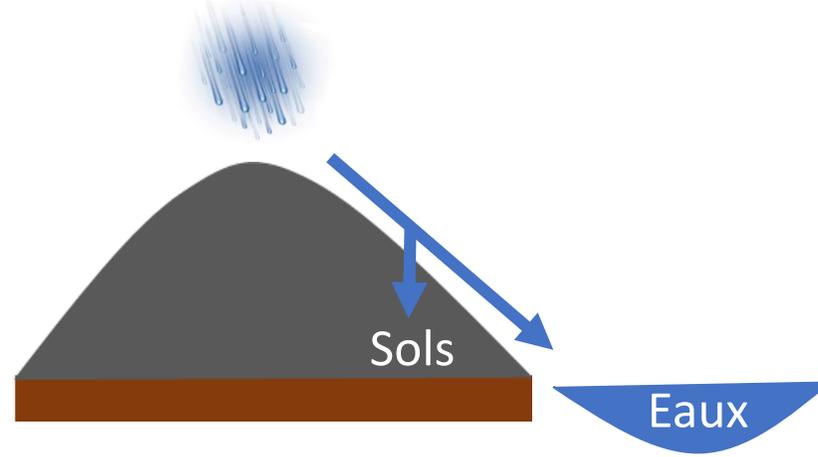


Répartition des différents types de végétation sur le terril

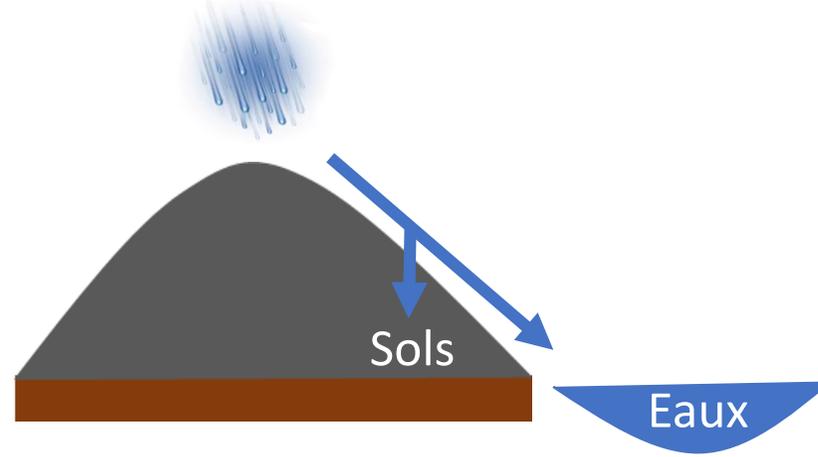


Qualité et stabilité du substrat de chaque type de végétation (pH, carbone, azote, activité microbienne...)





**Effet des différents types de végétation sur le transfert de contaminants par ruissellement des eaux ?**



**Effet des différents types de végétation sur le transfert de contaminants par ruissellement des eaux ?**

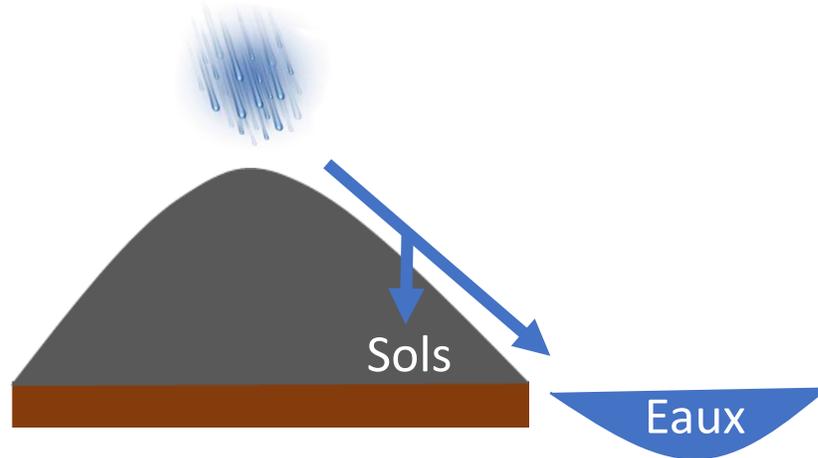
Essai de lixiviation des matériaux du substrat



© Mathilde Pitout



© Mathilde Pitout



Effet des différents types de végétation sur le transfert de contaminants par ruissellement des eaux ?

Essai de lixiviation des matériaux du substrat



© Mathilde Pitout

Essai de lixiviation des sédiments des bassins de rétention



© BRGM

© BRGM

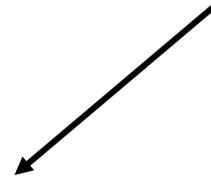
selon Norme AFNOR : essai de lixiviation NF EN 12457-2



**Effet des différents types de végétation sur le départ et la propagation d'un incendie ?**



Effet des différents types de végétation sur le départ et la propagation d'un incendie ?

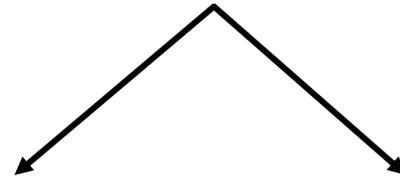


Température et humidité du substrat et des différents types de végétation





## Effet des différents types de végétation sur le départ et la propagation d'un incendie ?



Température et humidité du substrat et des différents types de végétation



© Mathilde Pitout



© Lorène Tosini



Composition et structure des différents types de végétation



© Isabelle Laffont-Schwab



© Mathilde Pitout



© Mathilde Pitout

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terrain



# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terril



Pelouse

Couvert végétal dense et homogène

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terril



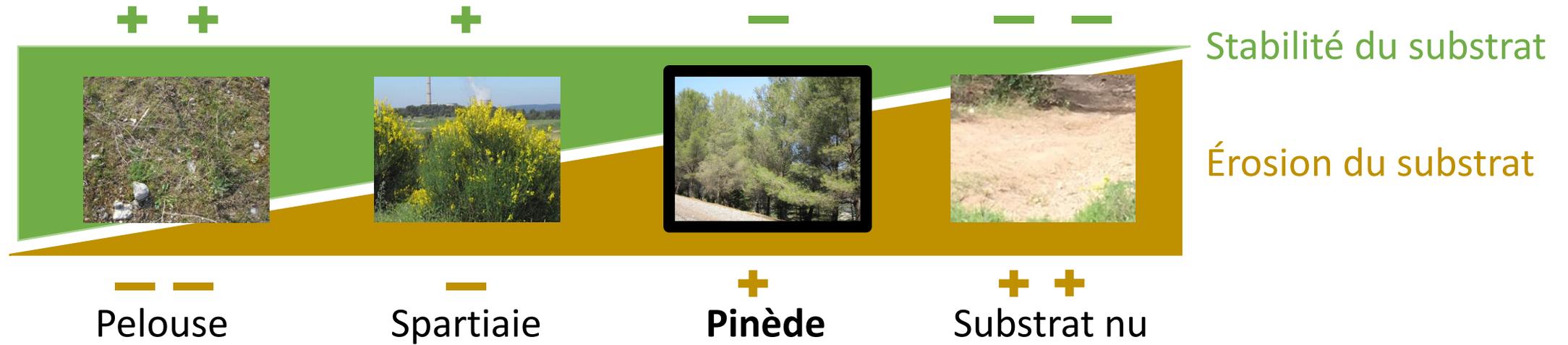
Spartiaie

Fort enracinement (Preti et Giadrossich, 2009)

Symbioses racinaires (bactéries et champignons) (Touati *et al.*, 2014)

Risque d'invasion biologique (Gavilán *et al.*, 2007)

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terril

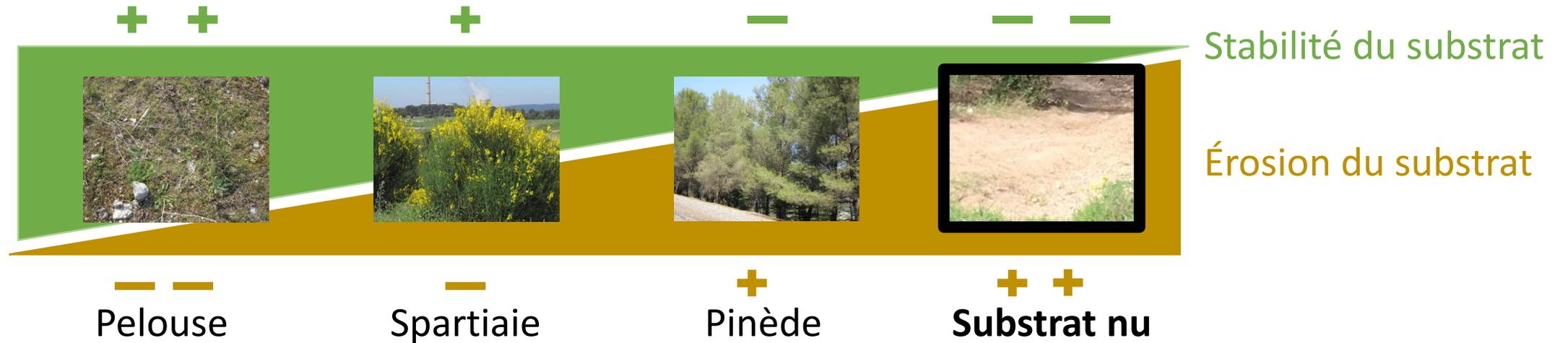


Pinède

**Systemes racinaires superficiels** (Ganatsas et Spanos, 2005)

**Faible densité de végétation sous la canopée**

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terril



Substrat nu

A éviter car érosion du substrat (Zhang *et al.*, 2015)

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terrain



—  
Pelouse (versant Est)



+  
Pinède (versant Ouest)

Risque de transfert de contaminants par ruissellement des eaux

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terrain



**Pelouse** (versant Est)



**Pinède** (versant Ouest)

Risque de transfert de contaminants par ruissellement des eaux



Pelouse

Un seul ravinement identifié

Chaux et lignite généralement non mis à nus

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terrain



—  
Pelouse (versant Est)



+  
**Pinède** (versant Ouest)

Risque de transfert de contaminants par ruissellement des eaux



Pinède

Plusieurs ravinements identifiés

Chaux et lignite généralement mis à nus

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terrain



— —  
Substrat nu



—  
Pelouse



+  
Pinède



+ +  
Spartiaie

Potentiel d'inflammabilité  
de la végétation

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terrain



Substrat nu



Pelouse



Pinède



Spartiaie

Potentiel d'inflammabilité  
de la végétation



Substrat nu

Absence de combustible

Erosion du substrat et auto-combustion

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terril



Substrat nu



Pelouse



Pinède



Spartiaie

Potentiel d'inflammabilité  
de la végétation



Pelouse

Meilleure rétention d'eau dans le substrat

Température du substrat plus basse

Diversité des types biologiques

# Effets des différents types de végétation sur les aléas présents sur le terrain



Substrat nu



Pelouse



Pinède



Spartiaie

Potentiel d'inflammabilité  
de la végétation



Pinède



Spartiaie

Forte inflammabilité (Alessio *et al.*, 2008)

Forte propagation du front de flamme (Alexandrian et Rigolot, 1992)

# La pelouse : végétation la plus adaptée pour la gestion intégrée des aléas du terril

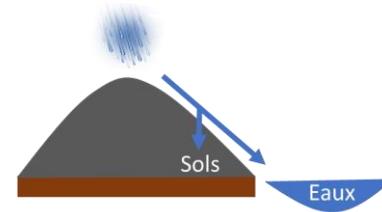


Stabilité du substrat

Érosion du substrat



Risque de transfert de contaminants par ruissellement des eaux



Pelouse

Spartiaie

Pinède

Substrat nu

Pelouse (versant Est)

Pinède (versant Ouest)

Potentiel d'inflammabilité de la végétation



Substrat nu

Pelouse

Pinède

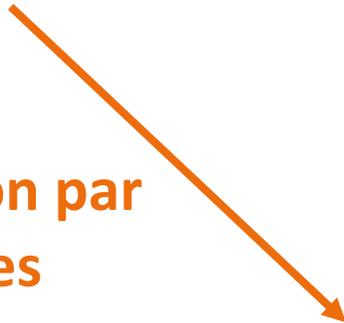
Spartiaie

## Favoriser le développement d'une pelouse



Substrat nu

**Végétalisation par  
des herbacées**



Pelouse

## Favoriser le développement d'une pelouse

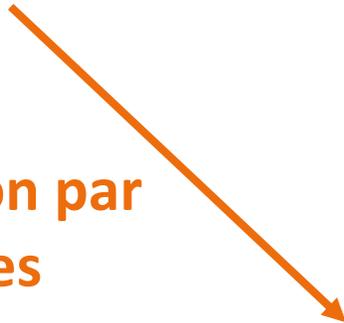


Substrat nu



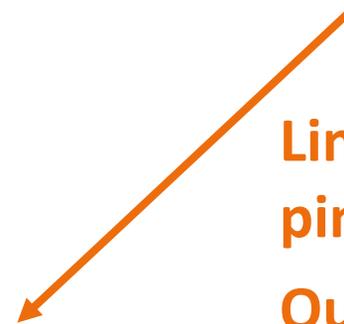
Pinède

**Végétalisation par  
des herbacées**



Pelouse

**Limiter l'expansion de la  
pinède  
Ouverture de la pinède**



## Limiter l'érosion du substrat



**Respect de la réglementation sur l'utilisation d'engins tout-terrain**

## Limiter l'érosion du substrat



© Isabelle Laffont-Schwob

Respect de la réglementation sur l'utilisation d'engins tout-terrain



© Ville de Meyreuil

Sensibilisation des usagers du terriil

# Merci de votre attention



© Ville de Meyreuil



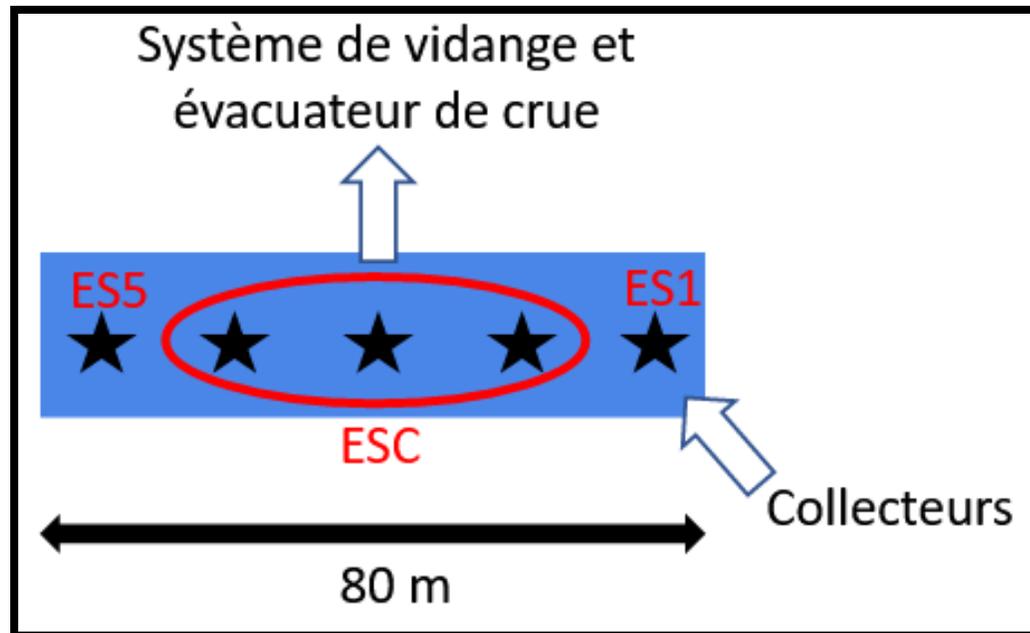
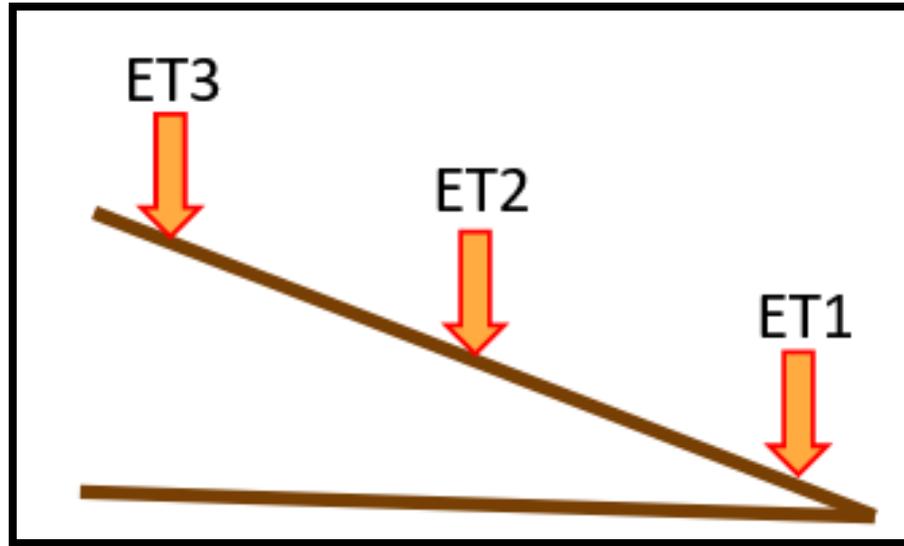
master BEE



# Références bibliographiques

- Alessio, G.A., Peñuelas, J., Llusà, J., Ogaya, R., Estiarte, M., De Lillis, M., 2008. Influence of water and terpenes on flammability in some dominant Mediterranean species. *International Journal of Wildland Fire*, 17: 274-286.
- Alexandrian, D., et Rigolot, E., 1992. Sensibilité du pin d'Alep à l'incendie. *Forêt méditerranéenne*, tome XIII, 3 : 185-198.
- Banks, D., Younger, P.L., Arnesen, R.T., Iversen, E.R., Banks, S.B., 1997. Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. *Environmental Geology*, 32: 157-174.
- Beets, C., 2009. Les terrils dans le Bassin Minier de Provence – Perspectives de valorisation. Rapport de master 2 de géographie, spécialité mondialisation et développement, Université de Provence.
- Daumalin, X., Mioche, P., Raveux, O., 2003. Le bassin minier des Bouches-du-Rhône (1809-2003). *Industries en Provence*, 11 : 10-19.
- Ganatsas, P., Spanos, I., 2005. Root system asymmetry of Mediterranean pines. *Plant and Soil*, 278: 75-83.
- Gavilán, R.G., Sánchez-Mata, D., Gaudencio, M., Gutiérrez-Girón, A., Vilches, B., 2015. Impact of the non-indigenous shrub species *Spartium junceum* (Fabaceae) on native vegetation in central Spain. *Journal of Plant Ecology*, 1-12.
- Geoderis, 2016. Bassin de lignite de Provence (13) – Révision et mise à jour des aléas liés à l'ancienne activité minière. Rapport S 2016/004DE - 16PAC22070.  
<https://www.ohm-provence.org/>
- Preti, F., Giadrossich, F., 2009. Root reinforcement and slope bioengineering stabilization by Spanish Broom (*Spartium junceum* L.). *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1713-1726.
- Thiery, V., Sokol, E.V., Masalehdani, M.N.N., Guy, B., 2013. La combustion des terrils. *Géochronique*, Bureau de recherches géologiques et minières, 127 : 23-25.
- Touati, J., Chliyah, M., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R., Douira, A., 2014. Effect of the arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and root development of selected plant species suggested for slope revegetation. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 2: 163-177.
- Zhang, L., Wang, J., Bai, Z., Chunjuan, Lv., 2015. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. *Catena*, 128: 44-53.

# Annexe I : Protocole transferts de contaminants à l'eau



OS

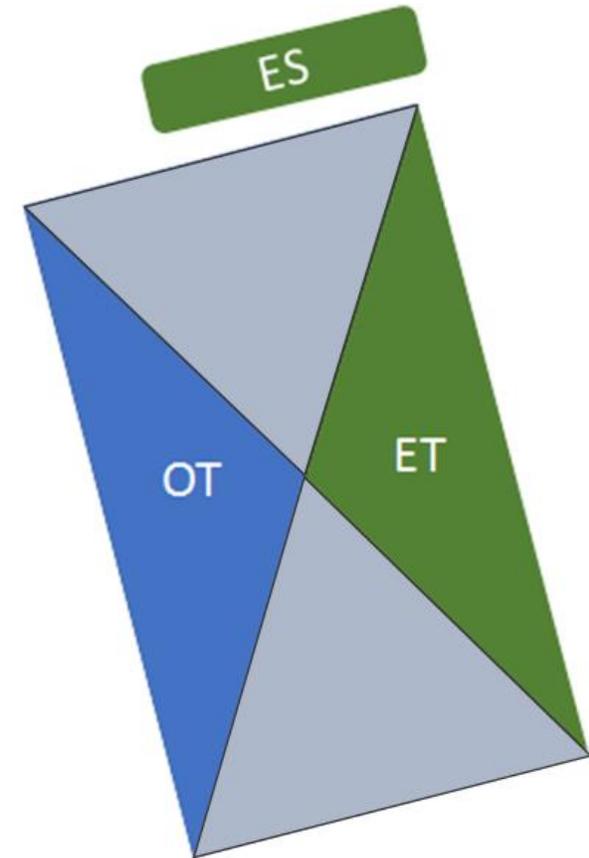


Schéma simplifié des bassins versants du terroir du Défens

## Formations végétales du terril



Pinède



Spartiaie

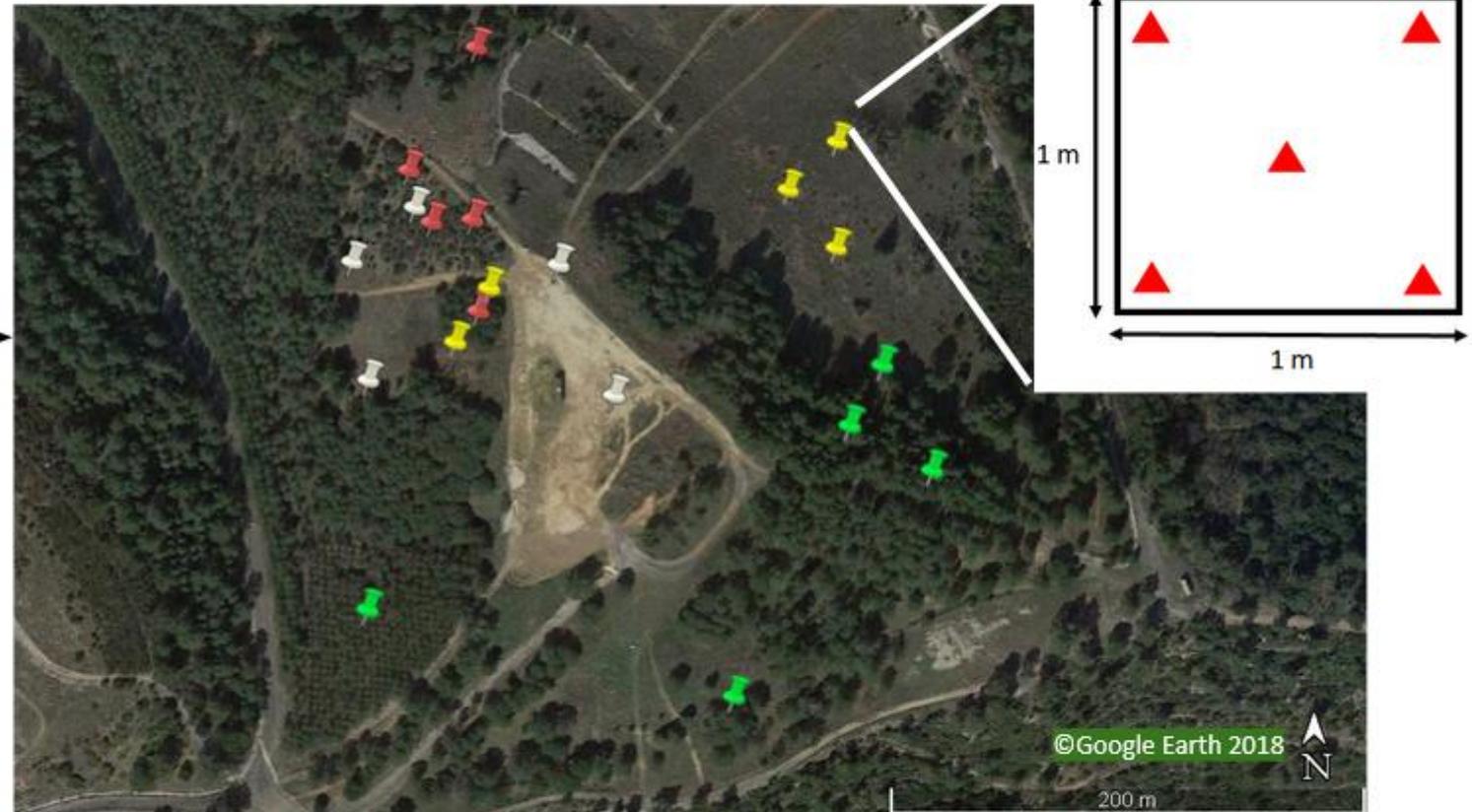


Pelouse



Substrat nu

## Échantillonnage de substrat au sein des formations végétales



- Pinède
- Spartiaie
- Pelouse
- Substrat nu
- Point de prélèvement du substrat (0-10 cm)

## Formations végétales du terril



©Provence Tourisme  
**Pinède**



©Hélène Folzer  
**Spartiaie**

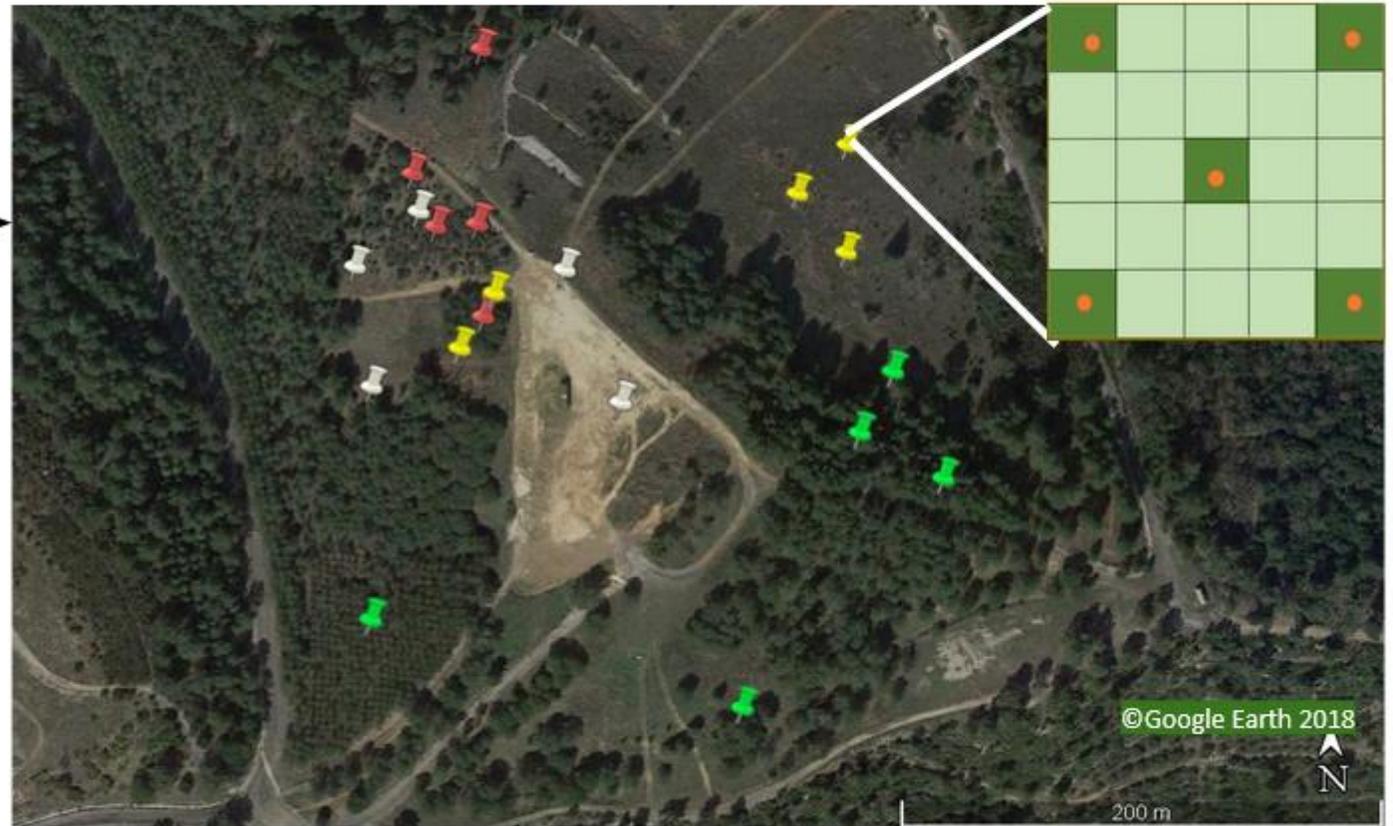
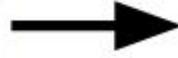


©Frédéric Guibal  
**Pelouse**



©Ghislaine Letourneur  
**Substrat nu**

## Échantillonnage de substrat au sein des formations végétales Placette de 1m<sup>2</sup>



**Pinède** **Spartiaie** **Pelouse** **Substrat nu**