Collège Pesquier

Gardanne

Classe de 3ème5

Des plantes pour un sol plus sain !

Comment retirer le cuivre d'un sol pollué grâce aux plantes ?

Lors de notre participation au concours CGénial en 2019, nous nous étions intéressés aux terrils de Gardanne pensant qu'ils contenaient beaucoup de polluants. En fait ils sont surtout constitués de roches stériles et ce sont plutôt très pauvres. Nous avons découvert qu'un autre type de sol de notre région pouvait être l'objet de notre étude : le sol des vignes.

Année 2020-2021

Comment réaliser notre étude ?

- Comme lors de notre étude en 2019, nous pouvions réaliser des solutions aqueuses de différentes concentrations en cuivre avec certaines qui dépassaient le seuil standard d'une terre calcaire caractéristique de la région provençale, faire pousser les plants dedans et suivre leur développement..

- Mais la découverte d'un article sur le site internet de la revue de vulgarisation scientifique de Science&Avenir a complètement changé la donne.

SCIENCES AVENIR Home Espace Santé Nutrition Nature Animaux High-Tech Archéo Fondamental Conne

AGRICULTURE

Mildiou : l'agriculture bio ne veut plus utiliser du cuivre

Par Loïc Chauveau le 22.01.2018 à 09h00

Lecture 4 min.

L'agriculture bio n'a droit qu'à un seul produit minéral de traitement des maladies : le cuivre. Mais il est très toxique dans l'environnement. Les chercheurs explorent aujourd'hui des voies alternatives prometteuses.

- La Provence est une région viticole de premier rang !
  Mais à quel prix ?

Pour lutter contre un champignon qui affecte les feuilles de vigne, le mildiou, les vignerons pulvérisent du sulfate de cuivre (d'où le verbe « sulfater »). Mais ils en déversent souvent bien trop et le cuivre s'accumule traitement après traitement dans les sols jusqu'à mettre en péril la vigne elle-même !

Notre projet pouvait dépasser le stade de l'éprouvette du laboratoire et s'ouvrir vers le monde extérieur : **il nous fallait trouver un partenaire dans le domaine viticole !** Et quoi de mieux pour nous qui vivons dans une région reconnue depuis les Romains pour la qualité de son climat pour cultiver des cépages dont les fruits donneront des merveilleux vins ! (à consommer avec modération et à + de 18 ans bien sûr ☺ !)

- *Selon Robert et Juste (1997) les teneurs moyennes en cuivre des horizons superficiels des sols iticoles (les plus riches du fait de la faible mobilité du cuivre), s'échelonnent entre 80 et 500 mg/kg de sol sec, ce qui en fait des sols pollués au regard de la réglementation (valeur de référence : 100 ppm).*

Source : **Les micro-polluants métalliques et les sols amendés par des boues résiduaires urbaines** - **Patrick PERRONO (*)** ETM dans les sols (u-picardie.fr)

- *Les zones de vignes et d'arboriculture (actuelles ou anciennes) sont presque toujours contaminées par du cuivre, à des degrés divers, parfois très fortement. En effet, des traitements répétés à la "bouillie bordelaise" ont été réalisés pour lutter contre le mildiou, depuis parfois un siècle, à des doses d'apports variant entre 3 et 30 kg de cuivre par ha et par an, selon le lieu et l'époque. Les sols de vigne ainsi contaminés par le cuivre présentent aujourd'hui des teneurs totales comprises entre 50 et 600 mg/kg. De telles contaminations n'affectent que l'horizon de surface mais les plus fortes d'entre elles peuvent rendre impossible la replantation de jeunes vignes ou une culture céréalière après arrachage.*

Source : ***Qualité des sols de France en zones rurales - Éléments Traces Métalliques (ETM) - Denis BAIZE http://www.denis-baize.fr/etm/webetmqu.html***

Quel domaine viticole choisir ?

- La mère de notre professeure de SVT est voisine d'un grand domaine viticole réputé pour la qualité de son vin depuis des siècles : **Le Château Pradeaux à Saint-Cyr-sur-Mer**. Elle avait constaté en se baladant le long des champs de vignes que **certains rangs étaient clairsemés avec l'absence de plants sur plusieurs mètres**. **Est-ce lié à l'accumulation de cuivre dans le sol ? Mystère !**

- Nous avons donc contacté **les responsables du Domaine qui ont très gentiment accepté un partenariat avec nous**. Ils étaient très contents de pouvoir savoir si la pratique du traitement du mildiou des générations précédentes pouvait avoir un effet sur leur ceps de vigne.

Quelle(s) plante(s) utiliser pour extraire le cuivre ?

- La documentation scientifique indique que le **tournesol** est un bon phytoextracteur de cuivre. (étude produite lors du Concours en 2018 et 2019)

- Une rencontre avec une ***chercheuse*** (Mme LAFFONT-SCHWOB) lors de notre visite des stands de la Fête de la Science organisée à l'école des mines du Campus Charpak à Gardanne nous a indiqué une autre plante. Elle présentait ses résultats sur la dépollution d'un sol d'une ancienne exploitation de plomb (métal lourd) dans une calanque marseillaise.

Elle expérimentait l'utilisation du **romarin** car c'est une plante adaptée aux conditions du climat méditerranéen qui n'a pas besoin d'entretien et de beaucoup d'eau. Et ses résultats obtenus pour le plomb étaient prometteurs.

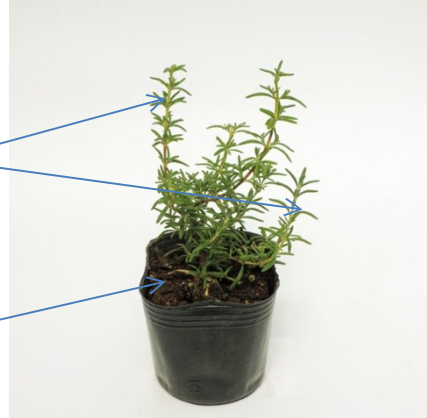
Comment obtenir les plantes à utiliser ?

- Comme en 2019, nous avons contacté le **GNIS (Groupement National Interprofessionnel des Semences)** pour obtenir l'envoi gratuit d'échantillons de **graines de tournesol.**
- Nous avons contacté la **société AGIR Écologique** qui nous a offert **20 plants de romarin** locaux.

Les plants donnés ont des caractéristiques physiques très hétérogènes

- des longueurs de tiges principales très différentes :
  - L_{min} = 8 cm
  - L_{max} = 27 cm

- Des nombres de brins très différents :
  - $N_{brins\ min}$ = 3
  - $N_{brins\ max}$ = 12

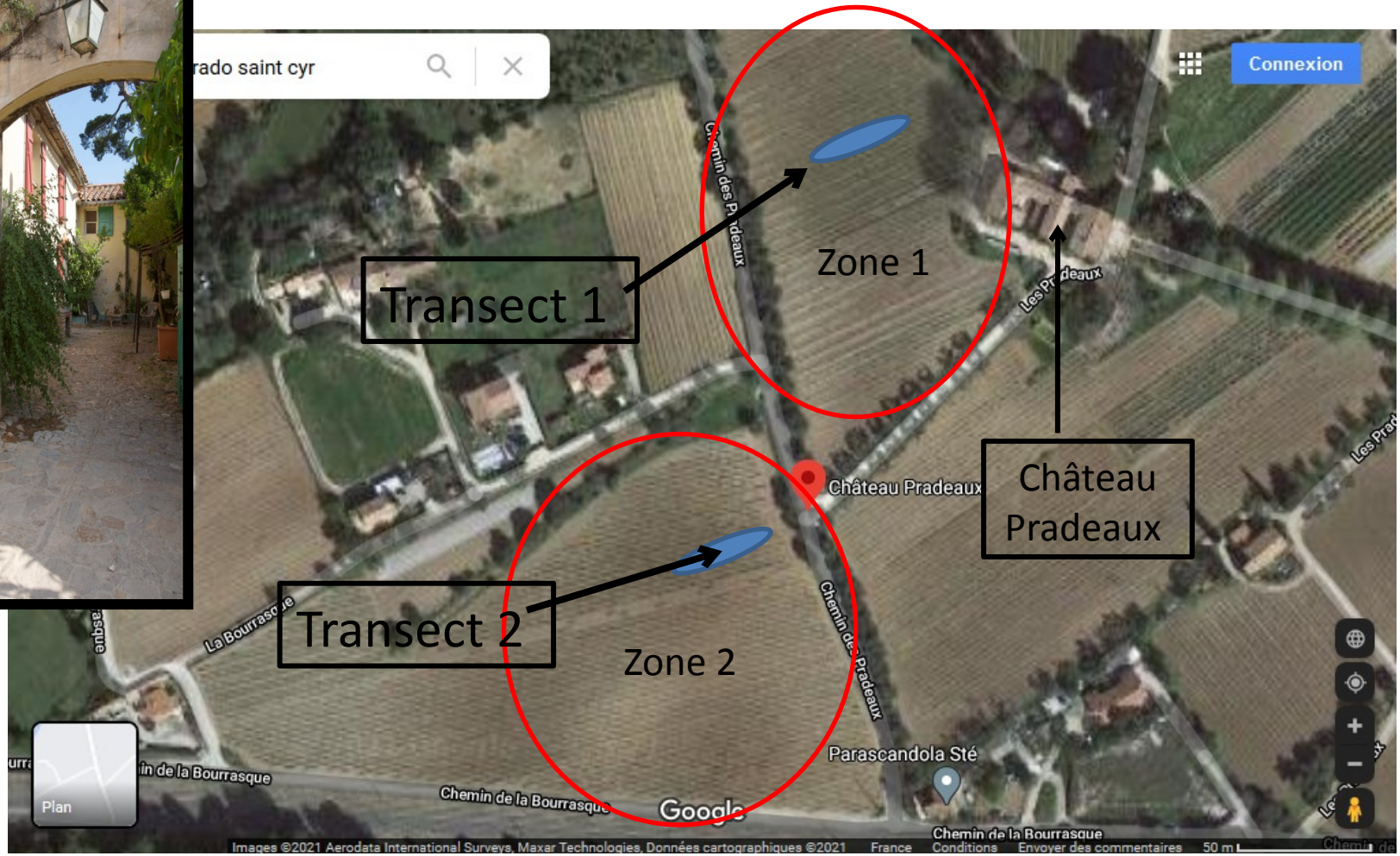


Mais les plants ont été plantés dans le même terreau donc disposent de la même qualité de substrat avec les mêmes ressources nutritives.

Chronologie des étapes de notre étude

Au laboratoire	Date	Château Pradeaux
❶ Analyse de la quantité en cuivre contenu - dans la terre ; - dans les feuilles, la tige et les racines de 2 plants de romarin TÉMOINS. + Analyse de 2 échantillons de sol de chaque transect et des pots	Décembre 2019	
	Décembre 2019	❷ Plantation de 18 plants de romarin cultivés dans le même terreau que les TÉMOINS dans deux zones = transects différents (10 par zone) où il y a eu l'arrachage de ceps de vigne morts prématurément.
	Mars 2020	❸ Semis de graines de tournesol dans chaque transect et en sol témoin
	Juillet 2020	❹ Récolte des tournesols
	Janvier 2021	❺Arrachage de 2 plants de romarin dans chaque transect, préparation des échantillons pour le laboratoire
❻ Analyse de la concentration en cuivre contenu - dans la terre ; - dans les feuilles, la tige et les racines des 4 plants de romarin arrachés.	Mars 2021	
❼ Analyse des tournesols...	Juillet 2021	

Photo aérienne du domaine viticole à Château Pradeaux



Voici les hypothèses que l'on voudrait vérifier :

❶ Le romarin et le tournesol prélèvent-t-ils du cuivre dans le sol ?

Dans ce cas-là, 2 résultats sont attendus

- La concentration en cuivre dans le sol du vignoble doit diminuer ;
- La concentration en cuivre dans les plants de romarin et tournesol doit augmenter ;

❷ Si l'hypothèse ❶ est vérifiée, où le romarin (le tournesol) le stocke-t-il ? Dans ses feuilles, ses tiges ou ses racines ?

Nous attendons encore les résultats pour les tournesols, nous présentons seulement les résultats obtenus avec les romarins.

Préparation &
Techniques d'analyses des échantillons

En mars 2020, **4 romarins ont été retirés du sol de vigne** avec une motte racinaire de 15 cm^3 pour analyse.
+ 1 motte de sol de vigne de 15cm^3 de chaque transect comme référence.

Transect 1 (mesures lors de la plantation en 2019)

N°	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre de brins principaux	8	5	8	6	5	5	6	10	5
Longueur de la tige principale (en cm)	18,0	17,0	15,0	22,0	23,0	20,0	27,0	16,0	25,0

Transect 2 (mesures lors de la plantation en 2019)

N°	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nombre de brins principaux	4	10	4	6	4	9	3	9	12
Longueur de la tige principale	8,0	16,0	17,0	19,0	16,0	14,0	15,0	13,5	19,0

Raisons de la sélection des plants prélevés :

- **Comparaison inter-transect** avec des plants de romarin des deux transects ;
- **Comparaison intra-transect** avec des plants de romarins du même transect.

Préparation des échantillons pour l'analyse au laboratoire LCE (Laboratoire de Chimie de l'environnement)

Plusieurs opérations manuelles ont été réalisées avec soin :

- Séparation de la terre et du plant ;
- Tamisage de la terre au tamis diamètre 2mm
- Stockage de la terre dans des sacs individuels et identifiés (n° du transect, n° romarin, organe)
- Sectionnement des racines et de la partie aérienne ;
- Nettoyage des racines à l'eau distillée ;
- Séparation des tiges, des feuilles

Techniques utilisées pour connaître la concentration en cuivre de chaque échantillon fourni.

- **BROYAGE**

- **ATTAQUE ACIDE**

Les analyses du cuivre présent dans les extraits de sols et de plants de romarin ont été effectués, dans un bac en Téflon® inerte, après une minéralisation acide (=attaque par un mélange d'acide nitrique et chlorhydrique) en four micro-onde pour élever la température et accélérer la vitesse de réaction (T=200°C). Une fois revenu à température ambiante, on reprend enfin la solution obtenue dans 25 mL d'eau distillée. On obtient un liquide appelé minéralisat stocké à 4°C jusqu'au dosage.

- **DOSAGE DU CUIVRE par SPECTROMÉTRIE D'ÉMISSION ATOMIQUE**

Le dosage du cuivre s'est effectué grâce à un appareil nommé de la marque Jobin Yvon JY2000. Dans cet appareil, une source de plasma crée une lumière. On injecte une quantité infime d'un liquide qui se vaporise et crée des raies d'absorption dans le spectre de la source plasma. En analysant le contraste de la raie d'absorption et par comparaison avec une droite d'étalonnage, on peut obtenir la concentration inconnue d'un échantillon.

Résultats

1- ÉTUDE DE LA CROISSANCE

Transect 1

N°	5		10	
Date de la mesure	2019	2021	2019	2021
Nombre de brins principaux	8	12	10	17
Longueur de la tige principale (en cm)	15	31,3	16	33

Transect 2

N°	14		17	
Date de la mesure	2019	2021	2019	2021
Nombre de brins principaux	4	8	9	10
Longueur de la tige principale (en cm)	17	38	14	22

Nous pouvons calculer le taux d croissance pour chaque plant:

$$Taux\ d'évolution\ relatif = \frac{(longueur\ finale\ - longueur\ initiale)}{longueur\ initiale} \times 100$$

Exemple pour le plant N°5 :

$$Taux\ d'évolution\ relatif\ de\ la\ longueur\ de\ la\ tige\ principale = \frac{(31{,}3-15)}{15} \times 100 = +109$$

	Transect 1		Transect 2	
N°	5	10	14	17
Taux d'évolution du nombre de brins (en %)	+ 50	+ 70	+ 100	+ 11
Taux d'évolution de la longueur de la tige principale (en %)	+ 109	+ 106	+ 124	+ 57

Ces taux d'évolution positifs montrent que les plants de romarin se sont bien développés ; l'ont ils fait tout en retirant du cuivre? A vérifier...

2- ÉTUDE de la Concentration en cuivre

Mesures avant mise en culture :

Dans la terre du transect 1 (en mg/kg)	104,7
Dans la terre du transect 2 (en mg/kg)	97,6
Dans le terreau du pot de romarin (en mg/kg)	29,9

Mesures après 13 mois de culture :

	TEMOINS		Transect 1		Transect 2	
N°	1	2	5	10	14	17
TERRE (en mg/kg)						
			94,6	79,1	93,9	91,3
Masse de cuivre prélevée /kg			10,1	25,6	3,7	6,3
PLANT DE ROMARIN (en mg/kg)						
Feuilles	14,45	24,77	15,28	24,47	12,57	15,50
Tiges	7,5	7,15	16,18	19,79	12,48	16,66
Racines	46,24	27,89	44,54	28,58	24,95	24,57

Masse de cuivre dans chaque partie de la plante

Nous disposons de la concentration en cuivre de chaque partie et de la masse sèche de chaque partie donc nous pouvons calculer la masse de cuivre dans chaque partie de chaque plant de romarin.
Voici le calcul effectué :

$$\underset{\text{(en mg)}}{m(cuivre)} = \underset{\text{(en g)}}{m(sèche)} \times \underset{\text{(en mg/g)}}{concentration}$$

	TEMOINS		Transect 1		Transect 2	
N°	1	2	5	10	14	17
Feuilles (en mg)	0,021	0,022	0,029	0,145	0,129	0,118
Tiges (en mg)	0,109	0,005	0,031	0,109	0,088	0,042
Racines (en mg)	0,536	0,020	0,048	0,115	0,088	0,040

Conclusions

❶ La comparaison entre les concentrations initiales en cuivre des sols avant plantation et après culture montre que le romarin…

- …**a la capacité d'extraire le cuivre du sol ;**
- …**tout en maintenant sa croissance .**

❷ On constate que **le romarin fixe le cuivre préférentiellement dans ses racines ce qui le classe dans la famille des plantes phytostabilisatrice** et non phytoextractrice (plantes qui fixent le polluant à extraire dans leurs parties aériennes)

Bilan

❶ Le romarin peut donc aider à « **capturer** » une **partie du cuivre présent dans le sol**. C'est une **plante locale** qui n'est pas très exigeante. Il n'a pas gêné le travail de la vigne et nous ne l'avons arrosé qu'à la plantation. On pourrait en planter dans les vignes du sud de la France, entre les plants ou dans les rangs où on souhaite replanter des jeunes vignes pour faciliter leur développement. On pourrait peut être **récolter le romarin** et comme le cuivre s'accumule surtout dans les racines, les feuilles pourraient êtres utilisées (plante aromatique ou huiles essentielles)

❷ Le sol du vignoble de Château Pradeaux ne contient **pas de grandes quantités de cuivre** (environ 100 mg/Kg alors que dans certains vignobles on atteint 600 mg/Kg). Il faudrait **répéter ces expériences** et e**ssayer dans des sols plus « contaminés »** pour voir si le romarin se développe quand même et s'il a les mêmes effets. Ce serait bien que le viticulteur puisse mesurer lui même directement la concentration en cuivre dans son sol, ce sera un autre projet !

Perspectives

❶ les plants de romarin du transect ont prélevé une quantité non négligeable de cuivre (plus de 25%). Peut on déduire qu'ils retireraient en 4 ans la totalité du cuivre sans que leur développement soit impacté (dose limite)

❷ Il nous reste à attendre les résultats des **analyses des tournesols**. Nous ne les avons pas arrosés beaucoup mais il a plu régulièrement entre mars 2019 (semis) et juillet 2019 (prélèvement). Ils demandent plus d'eau et pourraient être **utilisés dans d'autres régions**. Si ils accumulent bien du cuivre il faudra vérifier que les **graines n'en contiennent pas trop** si on veut les utiliser. Peut être serait-il possible de **récupérer le cuivre** accumulé dans les parties aériennes ? A nous de trouver comment en nous inspirant des travaux de **Claude GRISON** médaille de l'innovation du CNRS 2014!

❸ Le fait de planter des romarins, des tournesols ou d'autres espèces permettrait d'augmenter la **biodiversité** dans les vignes. Cette biodiversité pourrait **protéger la vigne** (et d'autres cultures) d'événements météorologiques (gel en avril 2021) et de l'action de l'Homme tout en favorisant le développement de la vigne. Les propriétaires de Château Pradeaux nous ont confirmé que c'était une action déjà expérimentée avec d'autres espèces.

Remerciements

- Un grand merci à **Mme Prudent**, chercheuse au LCE, qui nous a reçu avec une grande bienveillance dans son laboratoire sur le Campus Saint-Charles à Marseille et nous a fait visiter les locaux et nous a expliqué le rôle de chaque appareil d'étude et le rôle de chacun des personnels présents (collègues chercheurs, élèves en thèse, interlocuteur extérieur…), qui a réalisé avec son collègue TOUTES les analyses de concentration en cuivre des échantillons qu'on lui a fournit, et nous a envoyé un compte-rendu détaillé.
- Merci aux **propriétaires du domaine Château Pradeaux** qui nous ont permis d'accéder à leur vignoble
- Merci également à nos **deux professeurs** qui nous ont accompagnés, motivés, remotivés, drivés durant ces trois années d'étude.

Et bien sûr, Merci à tous nos autres partenaires

Ville de Gardanne

Gardanne
TERRE D'ÉNERGIES

Château Pradeaux

agiréco logique

Collège Pesquier

Laboratoire Chimie Environnement

semae
Toutes les semences pour demain