

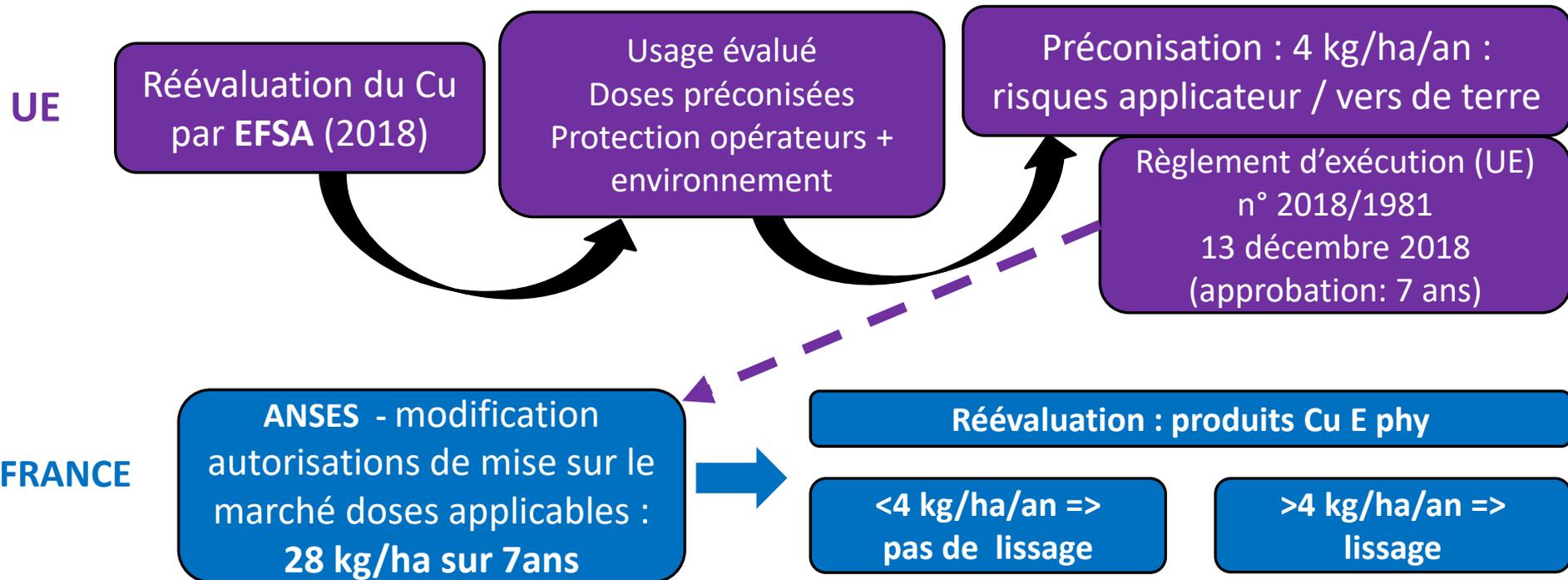
Gwenaël Imfeld
 CNRS, ITES (UMR7063)

Institut **Terre & Environnement**
 de **Strasbourg** | ITES | UMR 7063
 de l'Université de Strasbourg & CNRS & ENGEES

Accumulation, disponibilité et toxicité du cuivre (Cu) dans les sols viticoles dans un contexte d'évolution réglementaire - exemple du vignoble de Rouffach (68) -



Contexte : évolution réglementaire - produits cupriques

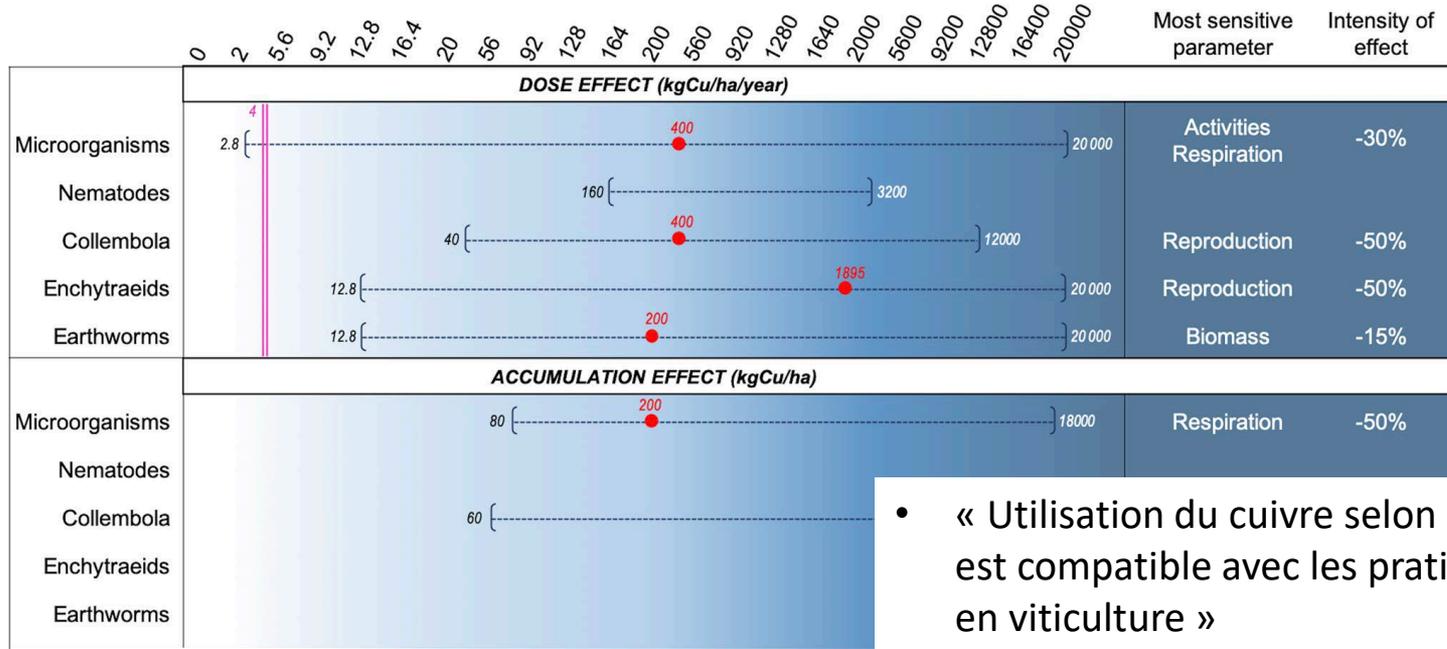


Contexte : fortes pressions

- **Forte pression** sur la communauté professionnelle viticole
 - Héritage historique de l'utilisation du Cu
 - Evolution rapide des réglementations et changement climatique
- **Absence de traitements alternatifs** au cuivre efficaces contre le mildiou
- **Eventualité d'une interdiction** d'utilisation du Cu : 6 => 4 => ? Kg Cu/ha/an
- Nombreuses **études écotoxicologiques** :
 - Difficultés : intégrer l'effet cumulatif et le 'vieillissement' du Cu dans le sol
 - Karimi et al. (2021) : pas d'effets délétères significatifs sur les organismes du sol

Dose annuelle moyenne : 4 kgCu/ha/an ↔ **seuil d'écotoxicité 200 kg Cu/ha/an**

Seuils de toxicité du cuivre pour les organismes du sol



Legend : (--) Tested doses / Soil content in the studies
 ● Copper Ecotoxicity Threshold
 || Dose currently authorized by the European Commission

- « Utilisation du cuivre selon le règlement en vigueur est compatible avec les pratiques agro-écologiques en viticulture »
- « Cuivre accumulé historiquement dans le sol commence à être délétère *au-delà de 200 kgCu/ha* »

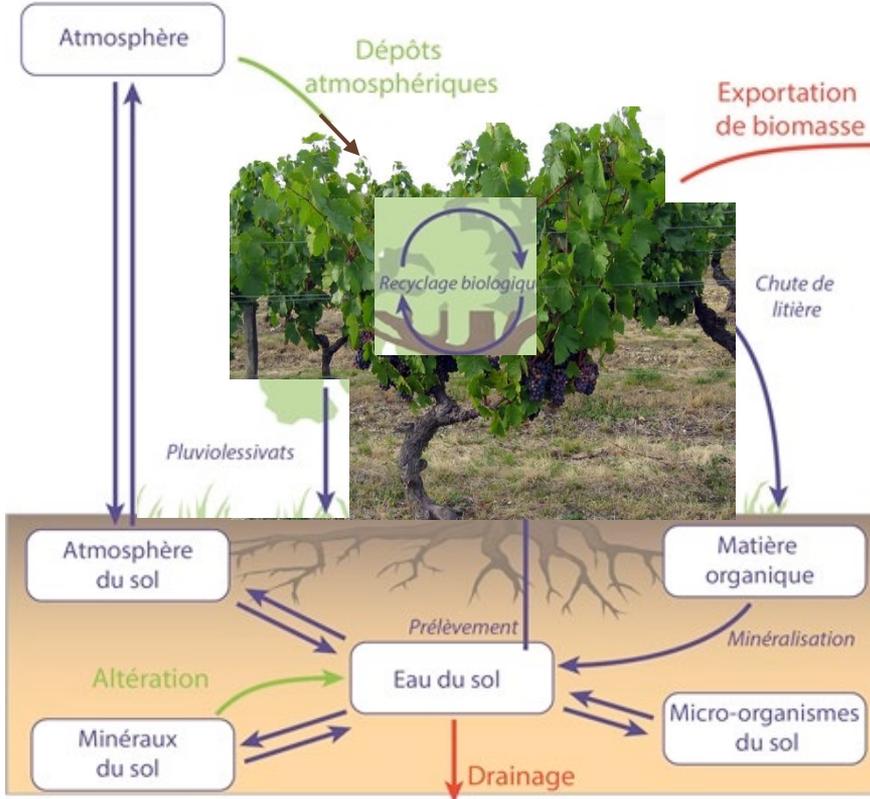


La prise en compte d'une dose unique (Cu total) est-elle suffisante pour garantir l'intégrité de la fertilité et de la biodiversité des sols?

Prendre en compte l'accumulation et la disponibilité du cuivre dans les sols viticoles pour en évaluer son écotoxicité

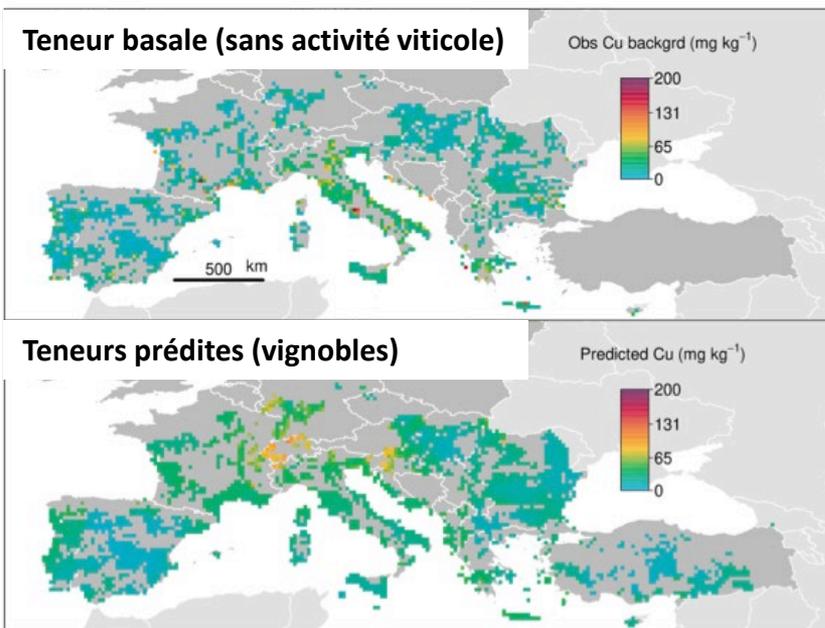
1. Stock 'historique' de Cu dans les sols est variable
2. Accumulation progressive du Cu dans les sols à chaque apport de cuivre
3. Teneurs supérieures au seuil d'écotoxicité : atteintes dans plusieurs sols viticoles
4. Immobilisation partielle du Cu dans le sol sous différentes formes dynamiques

1. Stock 'historique' de Cu dans les sols : variable



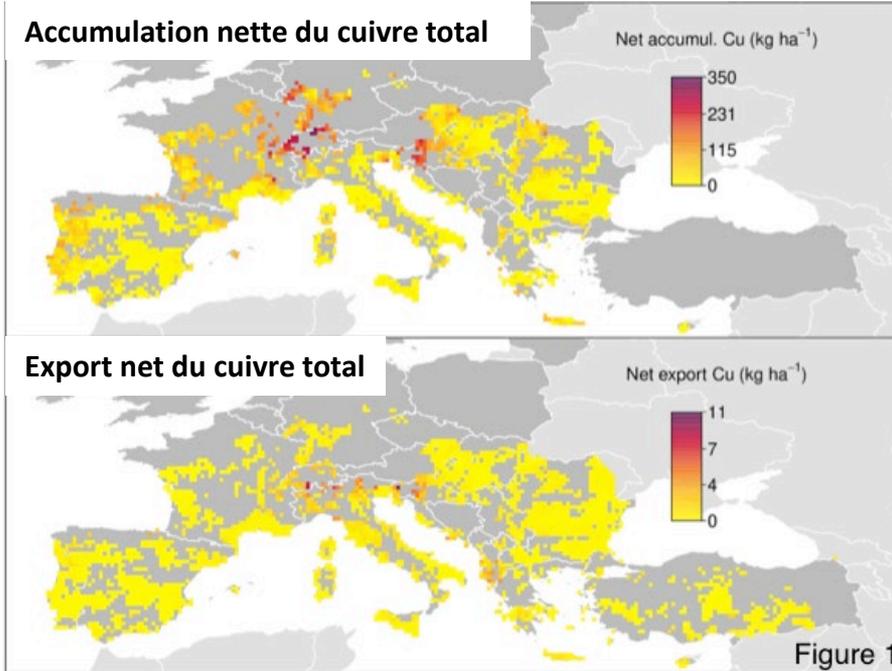
- **Accumulation Cu : 10 premiers cm du sol**
 - ↔ matière organique, hydroxides métalliques, phases minérales, précipitation avec carbonates
- **Rôle clé: matière organique**
 - Acides humiques insolubles / Apports / MOD
 - Complexes organométalliques solubles
- **Teneur & toxicité:**
 - Teneur souvent entre 200 et 1000 mg/kg
 - Toxicité du cuivre ↔ fraction biodisponible: dynamique/difficilement mesurable
 - Disponibilité et toxicité du cuivre augmente avec la diminution du pH (pH<5.5)

1. Stock 'historique' de Cu dans les sols : variable



- **Précipitations, aridité et carbone organique** du sol : variables clés expliquant la distribution du cuivre
- **Vignobles** : classe de sol affichant des teneurs en Cu supérieures à 100 mg/kg
- **Teneur en Cu dans les vignobles** :
 - valeur moyenne: 91,3 mg/kg
 - près de la moitié des vignobles >100 mgCu/kg

2. Accumulation progressive du Cu dans les sols



- **Accumulation nette du Cu dans les sols:**
 - Pas de dégradation du Cu
 - Export net : x100 inférieur à l'accumulation
- **Seuil 100 mg cuivre/kg sol \approx 150-250 kg Cu/ha** (10-15 cm du sol; stock estimé) dépassé : 70 % surfaces viticoles (Europe centrale et occidentale)
- **Seuil écotoxicologique** pour la qualité biologique du sol de 200 kg Cu/ha (Cu apporté) : atteint en 25-50 ans (à 4 kg Cu/ha/an)

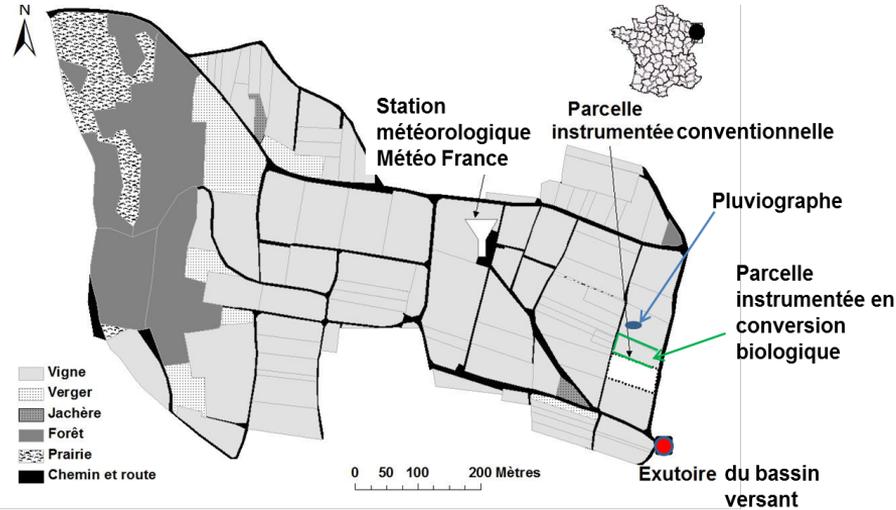
2. Accumulation progressive du Cu dans les sols



$P_{\text{annuel}} = 600\text{mm}$ continental
écoulements intermittents

- 42.7 ha; 60 % *Vitis vinifera* var. *sativa*, L., 6% route/chemin
- >80 parcelles, 35 viticulteurs
- Partenariat avec EPLEFPA Rouffach Wintzenheim (lycée viticole)

- Piémont Vosgien; 47°57'9 N, 007°17'3 E; 230-379 m; 15 % de pente
- Sol brun calcaire sur loess (limono-argileux), pH = 8



2. Accumulation progressive du Cu dans les sols

Bouillie bordelaise ($\text{CuSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$), Nordox (Cu_2O), Syphal ($3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCl}_2$), Cuprofix (CuSO_4), ...

Apport Fongicides cupriques
env. 1,65 kg/ha : Cu métallique)



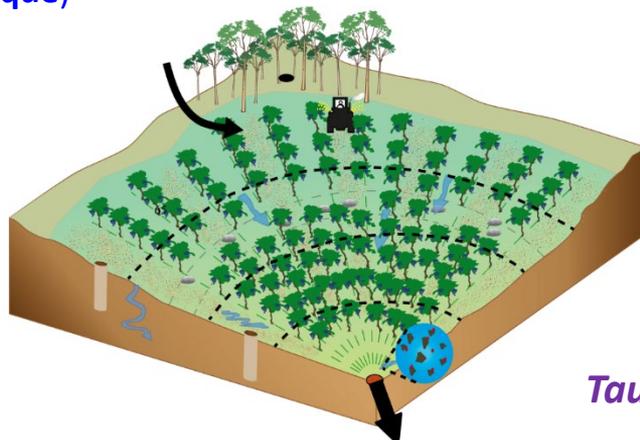
Stock dans la végétation:
5.2 kg : 0.2 kg/ha

Export dans les eaux de ruissellement:
16 g/ha/an

<1% de la masse de cuivre appliqué
(<0,1% s'infiltré dans le sol)
Lame ruisselante > 15 µg/L



Apports atmosphériques:
6 g/ha/an
(négligeable)



Temps avant d'atteindre la concentration ecotox. critique
Env. 50 ans (200 kg/ha)

Stock initial sol (10 cm) avant
viticulture (1960-1980) :
Env. 23 mg/kg sol
16 kg/ha



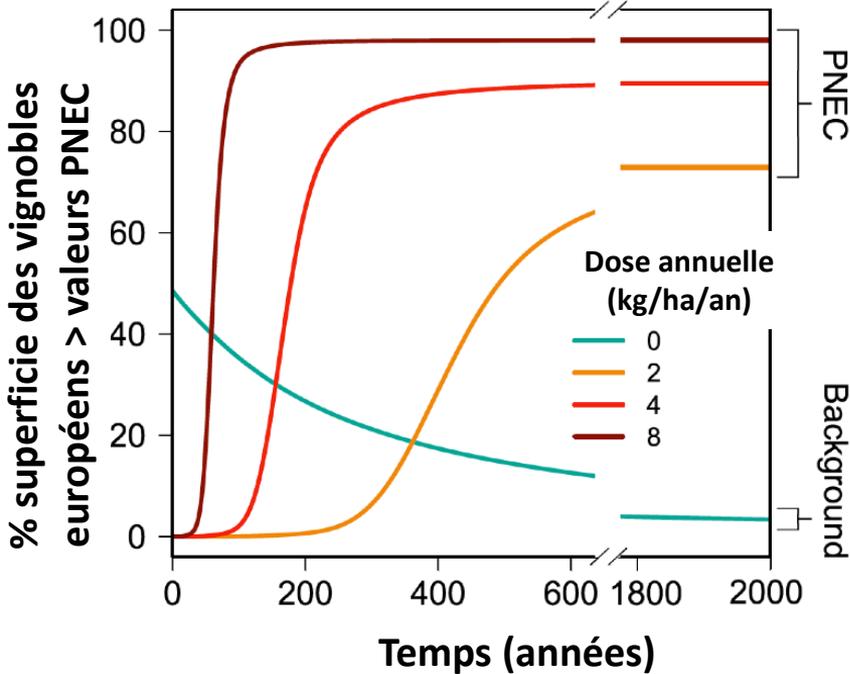
Stock actuel sol (10 cm): 120 kg/ha
190 mg Cu/kg



Taux accumulation (apport-export) :
Environ 1.63 kg Cu/ha/an



3. Teneurs supérieures au seuil d'écotoxicité : atteintes dans plusieurs sols viticoles

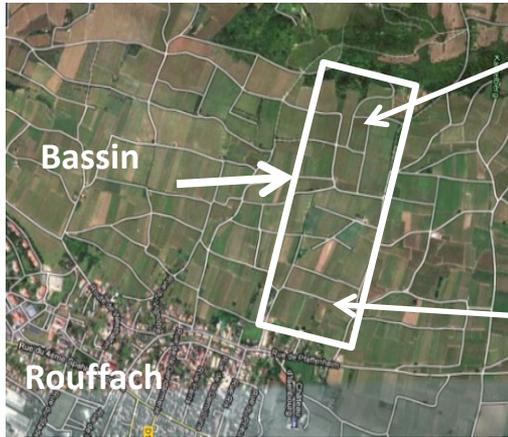


- **PNEC (Predicted No Effect Concentration)** : plus fortes concentrations de Cu sans risque pour l'environnement (30 et 290 mg cuivre/kg, selon les propriétés du sol)
- **% superficie des vignobles européens > valeurs PNEC** : variable en fonction de la dose Cu annuelle

| Dose annuelle (kg Cu/ha/an) | % Surf. vignes > PNEC |
|-----------------------------|-----------------------|
| 8 | 94 |
| 4 | 2 |
| 2 | 0,5 |

4. Immobilisation partielle du Cu : sous différentes formes co-existantes et dynamiques

Spéciation : différentes espèces, formes ou phases définies dans lesquelles le Cu existe dans le sol

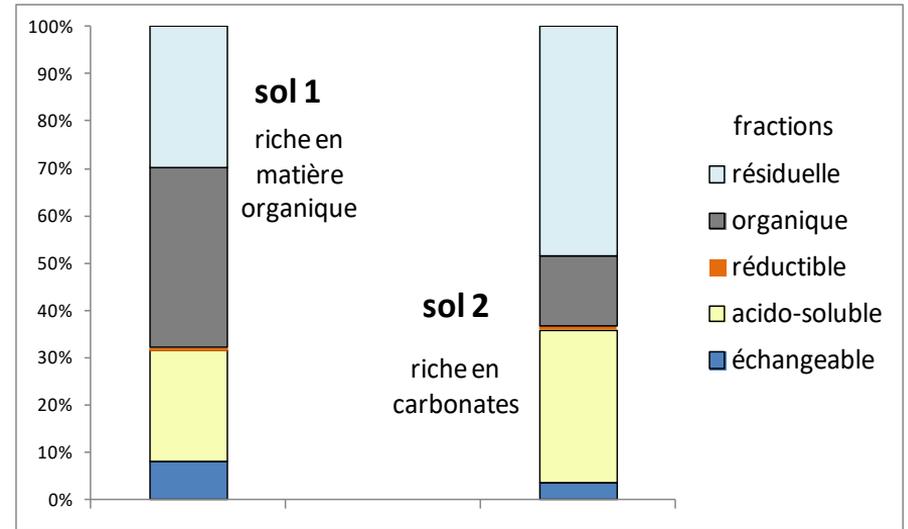


**Sols 1:
silteux**

**Sols 2:
sableux**

Sols bruns calcaires sur loess

- Phases porteuses du cuivre varient suivant le sol
- 43 to 51% du cuivre dans la fraction argileuse

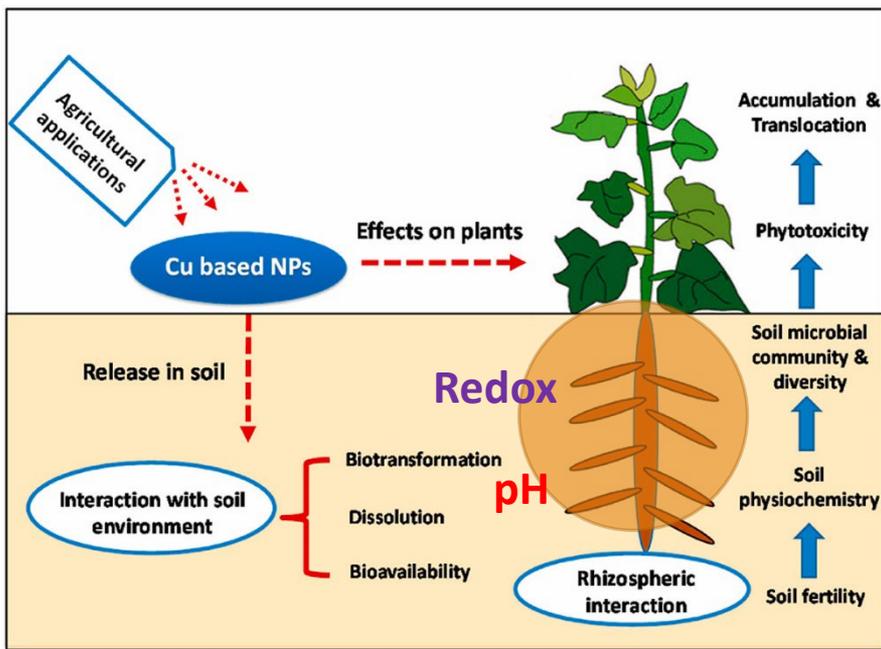


=> Cu 'stocké' dans le sol :

- Réactif
- Evolue qualitativement au cours du temps

**Etudes écotoxicologiques : souvent réalisées sans tenir compte
de la distribution chimique et physique du Cu historique entre les fractions du sol,
*en particulier dans les sols végétalisés***

4. Immobilisation partielle dans le sol sous différentes formes co-existantes et dynamiques



- **Fractions chimiques de Cu** : re-mobilisables (conditions hydro-climatiques et pédologiques)
- **Disponibilité et toxicité du Cu** : \uparrow si $\text{pH}_{\text{sol}} \downarrow$ (végétation/changement de pratiques)
- **Cycle biogéochimique du Cu** : système sol-plante \neq sol non-végétalisé
- **Végétation \Leftrightarrow disponibilité et la toxicité du Cu** lors de la reconversion d'un vignoble en terre arable

=> Teneur Cu totale : ne peut servir de référentiel

Conclusions



- **Accumulation Cu dans le sol** : menace agricole et environnementale à l'échelle européenne
- **Utilisation de cuivre jusqu'à 28 kgCu/ha sur sept ans** : repousse l'échéance de dépassement du seuil d'écotoxicité du cuivre impactant la biodiversité des sols
- **Niveau de risque pour la qualité biologique du sol** : important dans certains vignobles, variable et augmentera dans les prochaines décennies
- **Variabilité de la teneur, de l'âge et de la mobilité du cuivre historiquement accumulé** dans le sol : échelles du vignoble et des vignobles européens



**Pas d'utilisation inoffensive du Cu,
même à une dose inférieure à celles utilisées historiquement**

Que faire ?

Juste quelques pistes...

- **Considérer la spéciation du Cu, la biodisponibilité ultérieure et les facteurs de contrôle :**
évaluer l'impact écotoxicologique sur la qualité biologique des sols et sa dynamique
- **Prédire l'accumulation de Cu dans les sols viticoles en Europe :**
tenir compte des risques locaux et de l'historique de l'utilisation du cuivre
- **Limiter l'accumulation de Cu :**
définir localement: risques de toxicité pour les organismes et approches intégratives pratiques culturelles
- **Définir une utilisation locale adaptée du Cu et évaluer l'impact du cuivre de manière plus spécifique :**
élaborer des approches holistiques pour réduire la toxicité et l'usage du Cu => **expérimenter !**