



# Impact des traitements appliqués aux effluents d'élevage sur les bactéries résistantes et les gènes de résistance aux antibiotiques

Anne-Marie Pourcher  
*Irstea, UR OPAALE, Rennes*



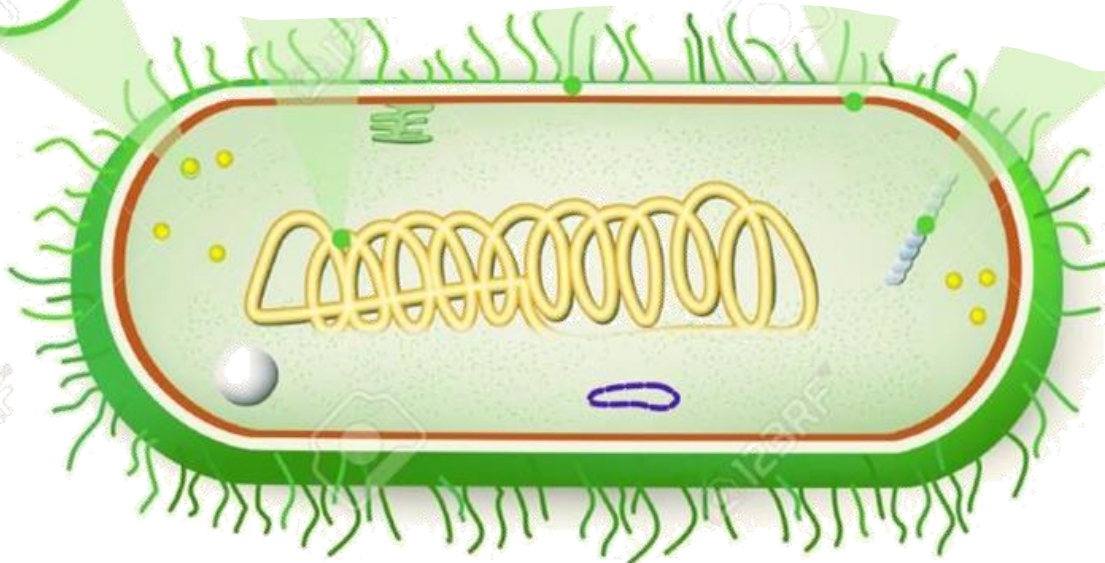
[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)



# Mécanismes d'action des antibiotiques

**Tétracyclines**  
**Macrolides**  
**Aminoglycosides**

**Inhibition de la  
synthèse protéique**





# Mécanismes d'action des antibiotiques

**Tétracyclines**  
**Macrolides**  
**Aminoglycosides**

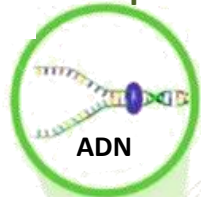
Inhibition de la  
synthèse protéique



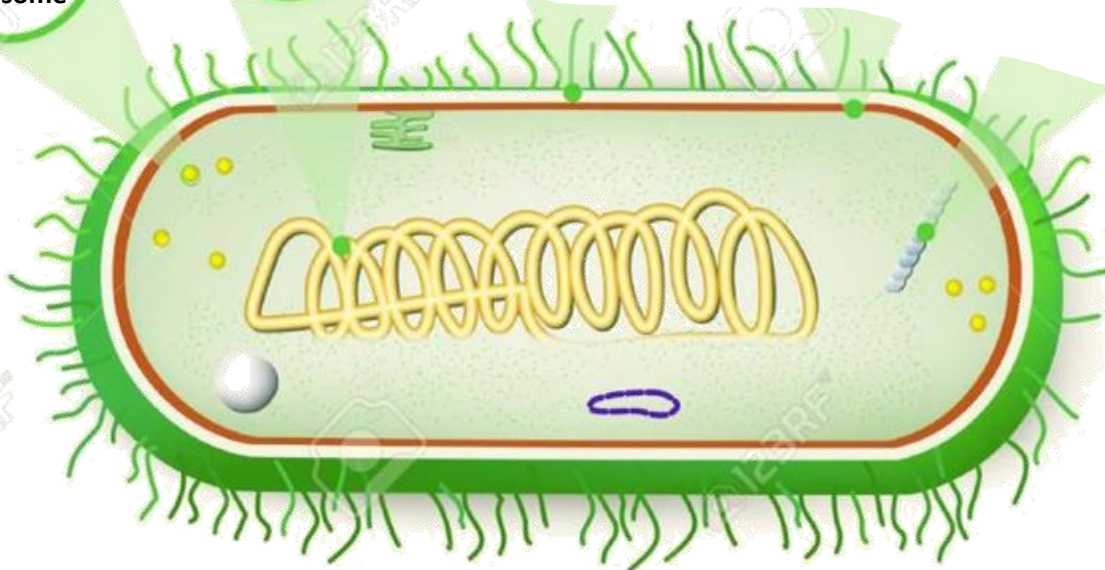
ribosome

**Fluoroquinolones**  
**Rifamycines**

Inhibition de la  
synthèse des  
ac. nucléiques



ADN





# Mécanismes d'action des antibiotiques

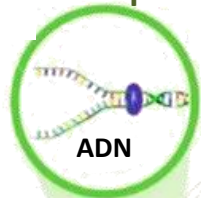
**Tétracyclines**  
**Macrolides**  
**Aminoglycosides**

Inhibition de la  
synthèse protéique



**Fluoroquinolones**  
**Rifamycines**

Inhibition de la  
synthèse des  
ac. nucléiques

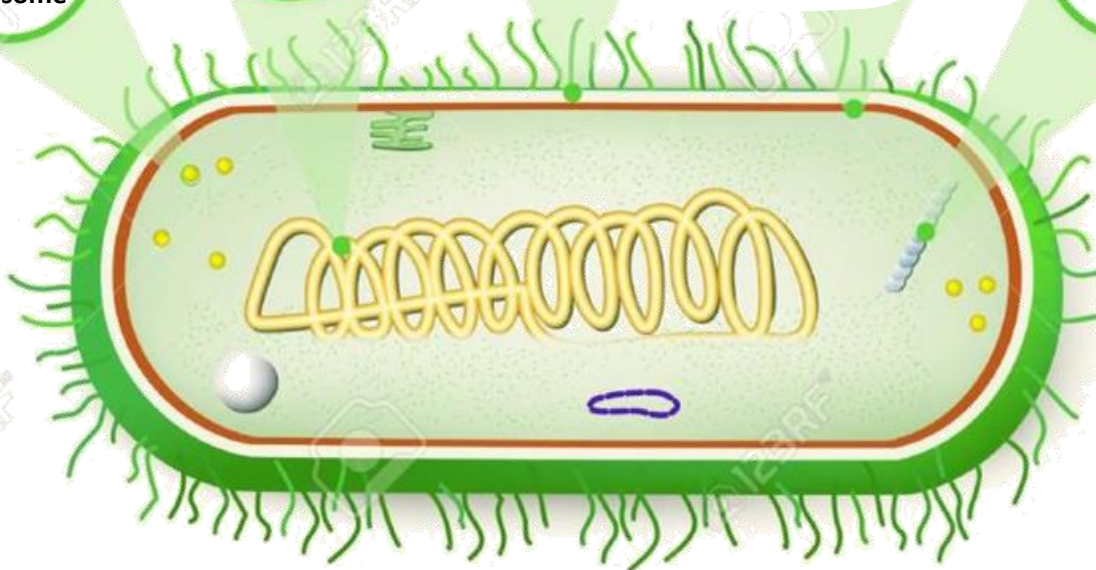


**Sulfonamides**  
**Trimethoprim**

Inhibition de la  
synthèse des  
acides foliques

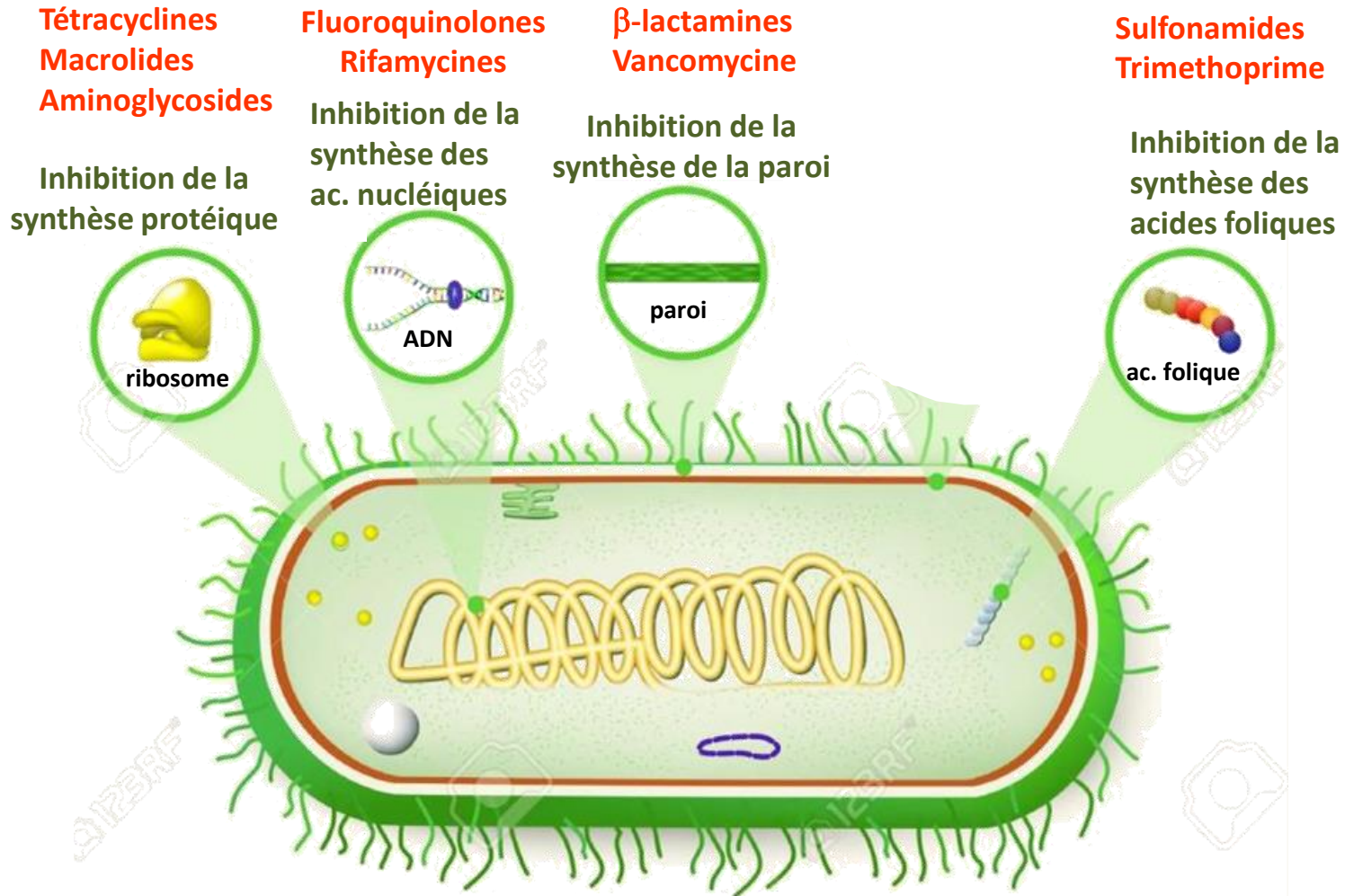


précurseur d'une coenzyme  
impliquée dans la synthèse  
des bases nucléiques  
constituant les acides  
nucléiques



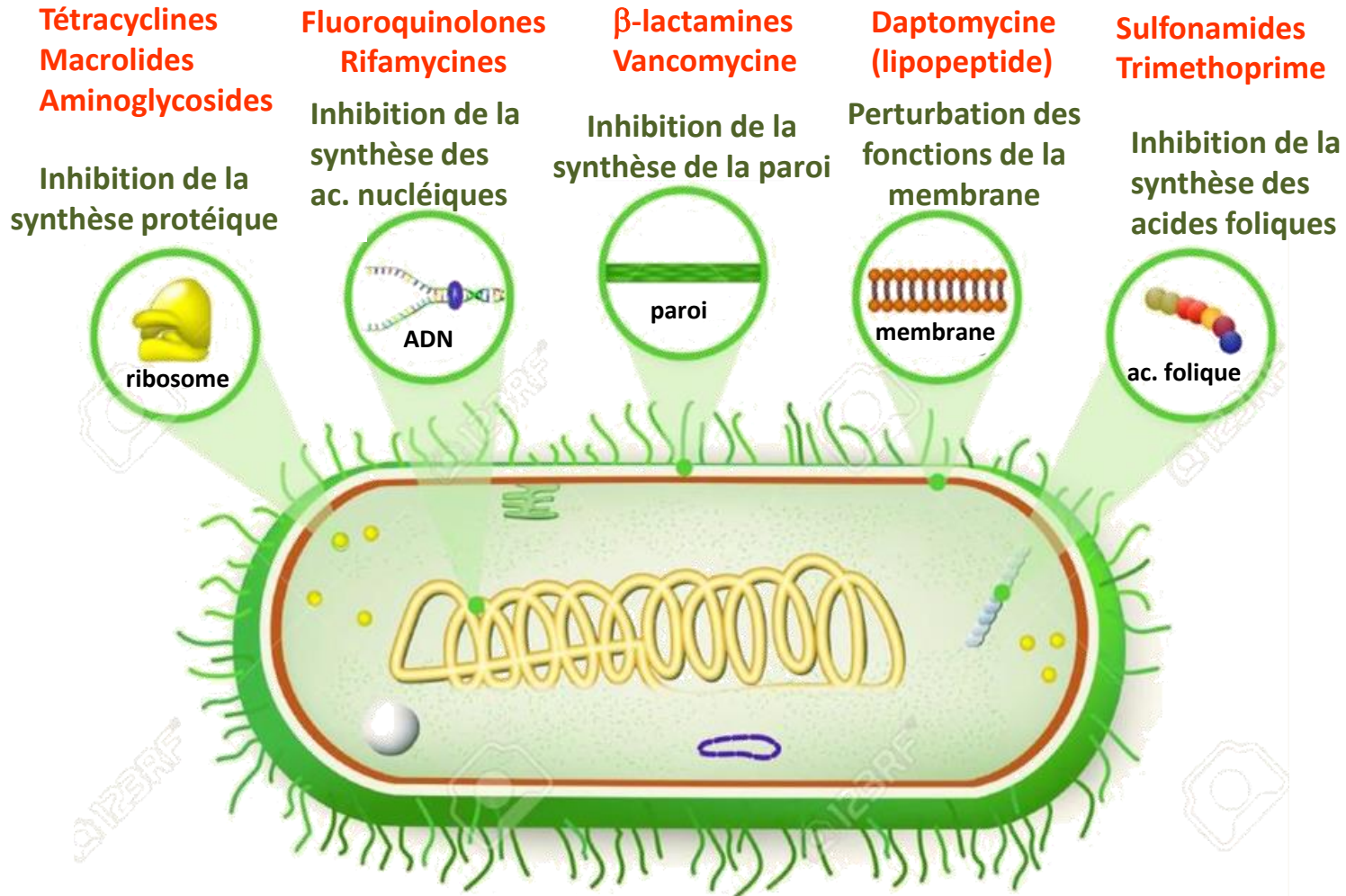


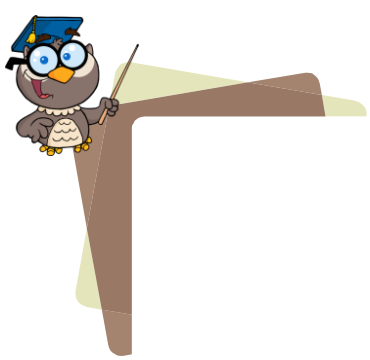
# Mécanismes d'action des antibiotiques



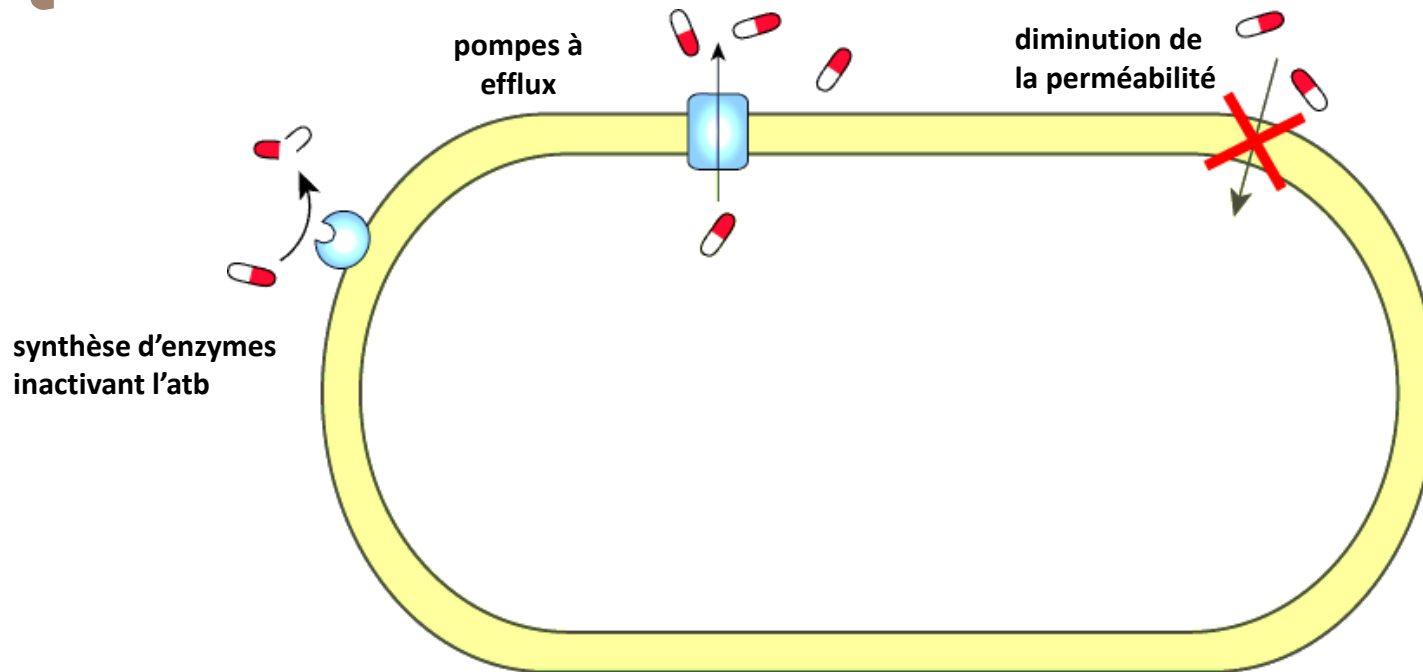


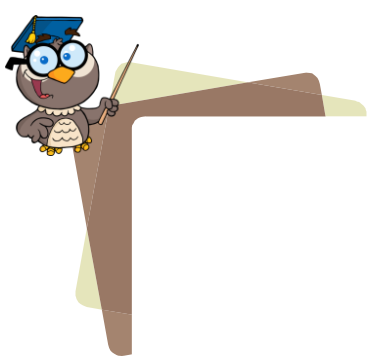
# Mécanismes d'action des antibiotiques



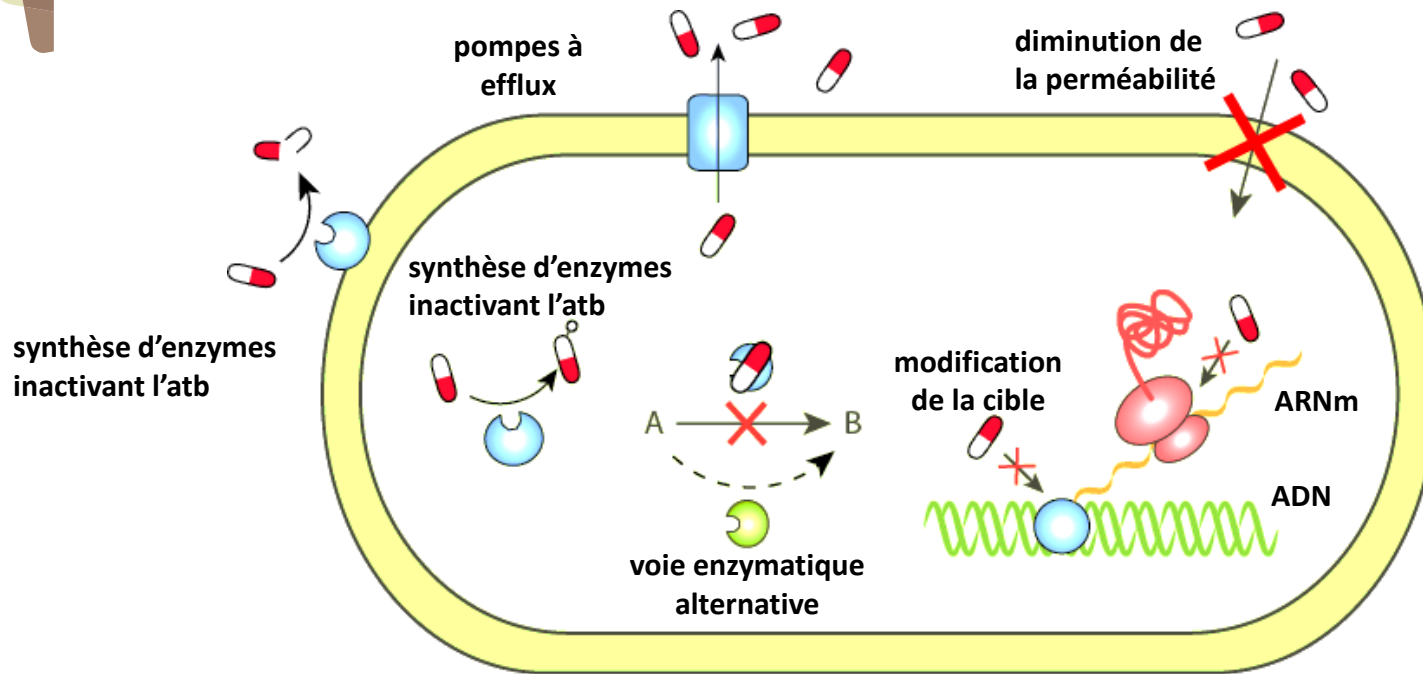


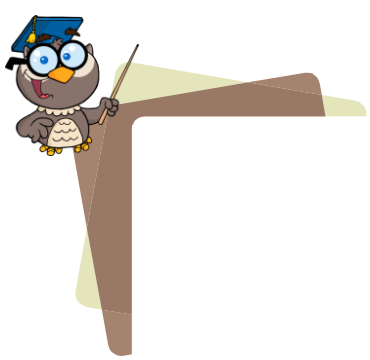
## Mécanismes de défense des bactéries



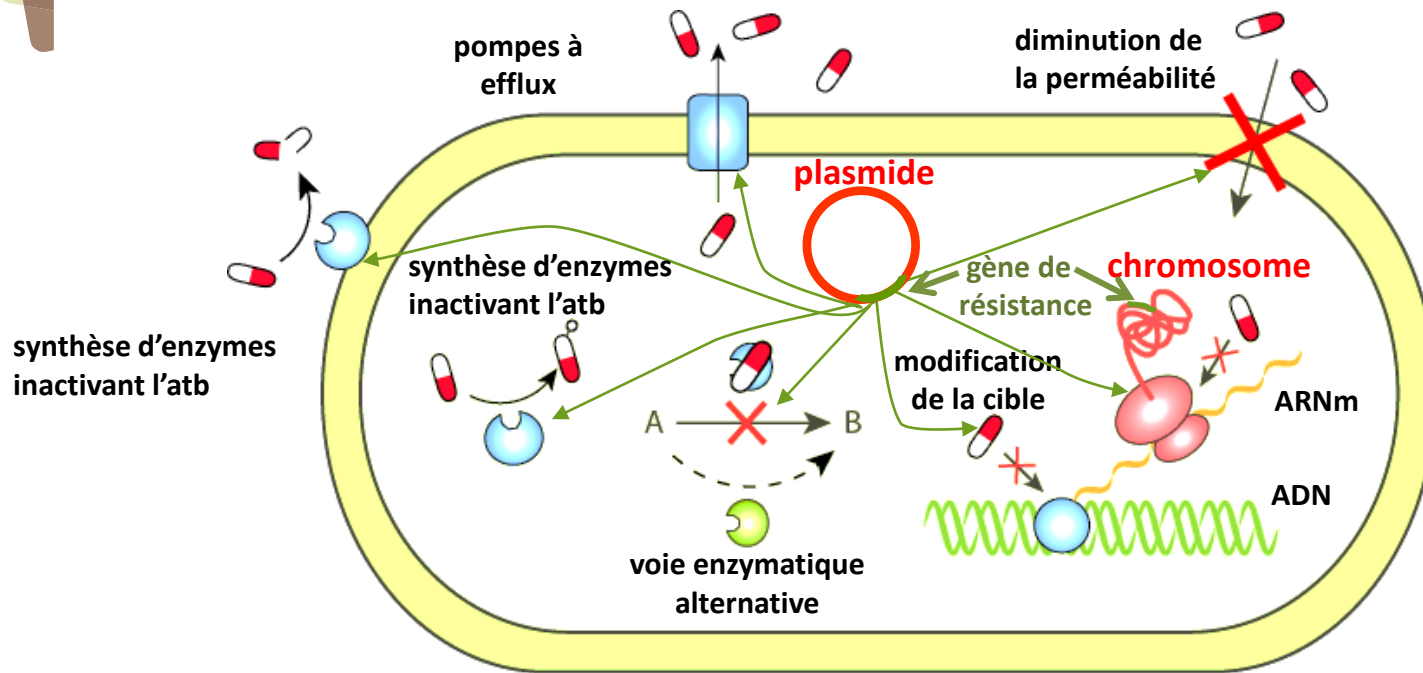


## Mécanismes de défense des bactéries





## Mécanismes de défense des bactéries



- gènes de résistance portés par
- chromosome
  - éléments génétiques mobiles  $\Rightarrow$  plasmides



# Mécanismes de transmission de la l'antibiorésistance

## ➤ Résistance naturelle ou intrinsèque

toutes les bactéries d'une même espèce

support génétique de la résistance : chromosome bactérien

stable, transmise à la descendance



LETTER<sub>2011</sub>

doi:10.1038/nature10388

## Antibiotic resistance is ancient

Vanessa M. D'Costa<sup>1,2\*</sup>, Christine E. King<sup>3,4\*</sup>, Lindsay Kalan<sup>1,2</sup>, Mariya Morar<sup>1,2</sup>, Wilson W. L. Sung<sup>4</sup>, Carsten Schwarz<sup>3</sup>, Duane Froese<sup>5</sup>, Grant Zazula<sup>6</sup>, Fabrice Calmels<sup>5</sup>, Regis Debruyne<sup>7</sup>, G. Brian Golding<sup>4</sup>, Hendrik N. Poinar<sup>1,3,4</sup> & Gerard D. Wright<sup>1,2</sup>

### metagenomic analyses of ancient DNA from 30,000-year-old

#### Beringian permafrost sediments :

#### identification of a diverse collection of genes encoding resistance to

- $\beta$ -lactam
- tetracycline
- glycopeptide antibiotics



**“These results show that antibiotic resistance is a natural phenomenon that predates the modern selective pressure of clinical antibiotic use”**



*Age de glace*

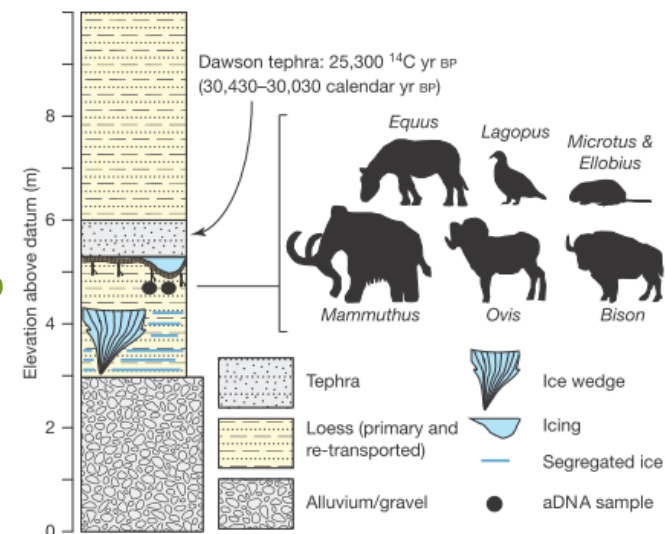


Figure 1 | Stratigraphic profile and location of Bear Creek site. Elevation is



# Mécanismes de transmission de la l'antibiorésistance

## ➤ Résistance naturelle ou intrinsèque

toutes les bactéries d'une même espèce

support génétique de la résistance : chromosome bactérien

stable, transmise à la descendance

## ➤ Résistance acquise

quelques ou plusieurs souches d'une même espèce

moins stable mais se propage parmi les bactéries

⇒ modification du génome permettant de tolérer une concentration d'atb plus élevée que celle qui inhibe les souches sensibles de la même espèce



# Mécanismes de transmission de la l'antibiorésistance

## ➤ Résistance naturelle ou intrinsèque

toutes les bactéries d'une même espèce

support génétique de la résistance : chromosome bactérien

stable, transmise à la descendance

## ➤ Résistance acquise

quelques ou plusieurs souches d'une même espèce

moins stable mais se propage parmi les bactéries

⇒ modification du génome permettant de tolérer une concentration d'atb plus élevée que celle qui inhibe les souches sensibles de la même espèce

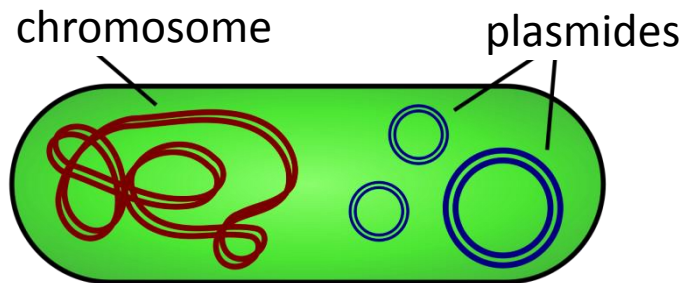
## ➤ Mécanismes génétiques de la résistance acquise

chromosome

⇒ résistance chromosomique

plasmides, éléments transposables, intégrons

⇒ résistance extra-chromosomique





# Mécanismes de transmission de la l'antibiorésistance

**Transfert vertical** : apparition d'une mutation du chromosome transmise lors de la division bactérienne

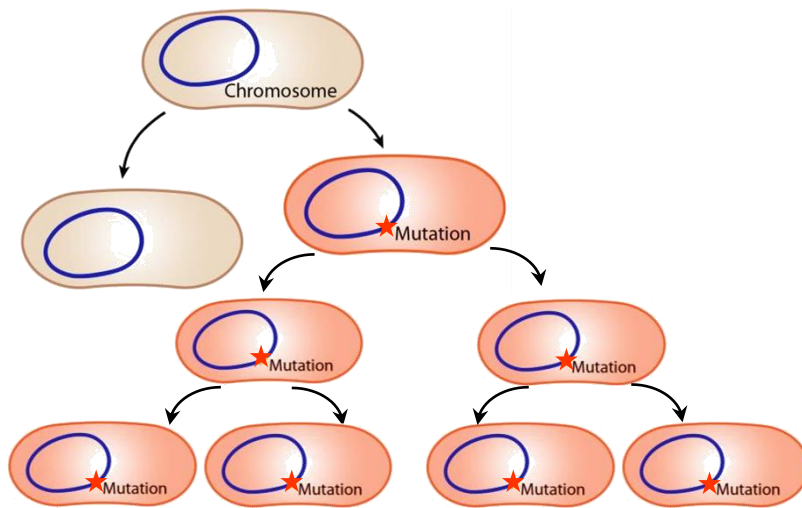


Image copyright: Francesca Short, 2018



# Mécanismes de transmission de la l'antibiorésistance

**Transfert vertical** : apparition d'une mutation du chromosome transmise lors de la division bactérienne

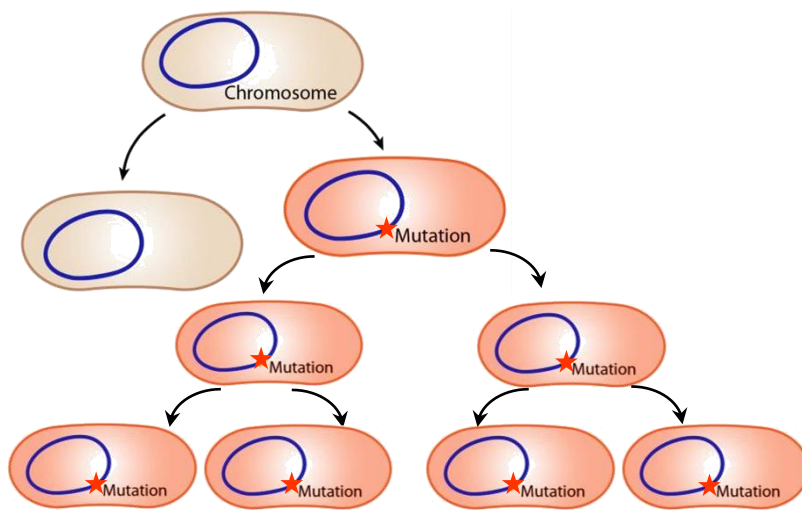
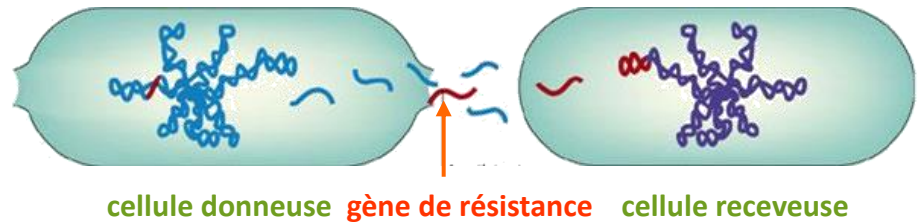


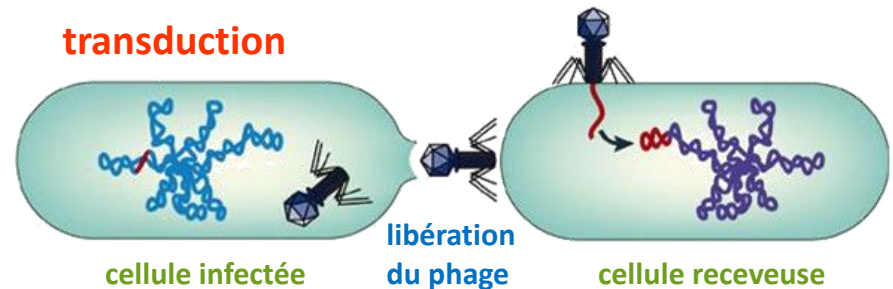
Image copyright: Francesca Short, 2018

**Transfert horizontal** : acquisition de gènes extérieurs à la bactérie

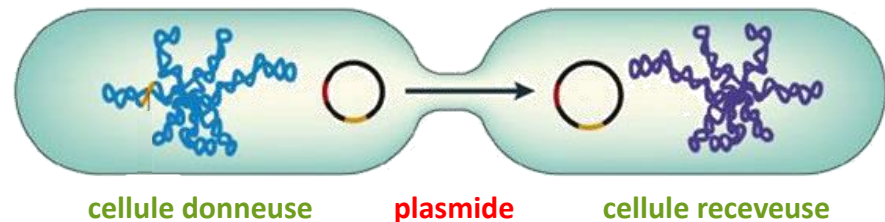
**transformation** libération d'ADN

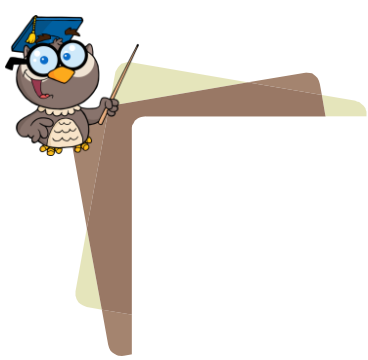


**transduction**

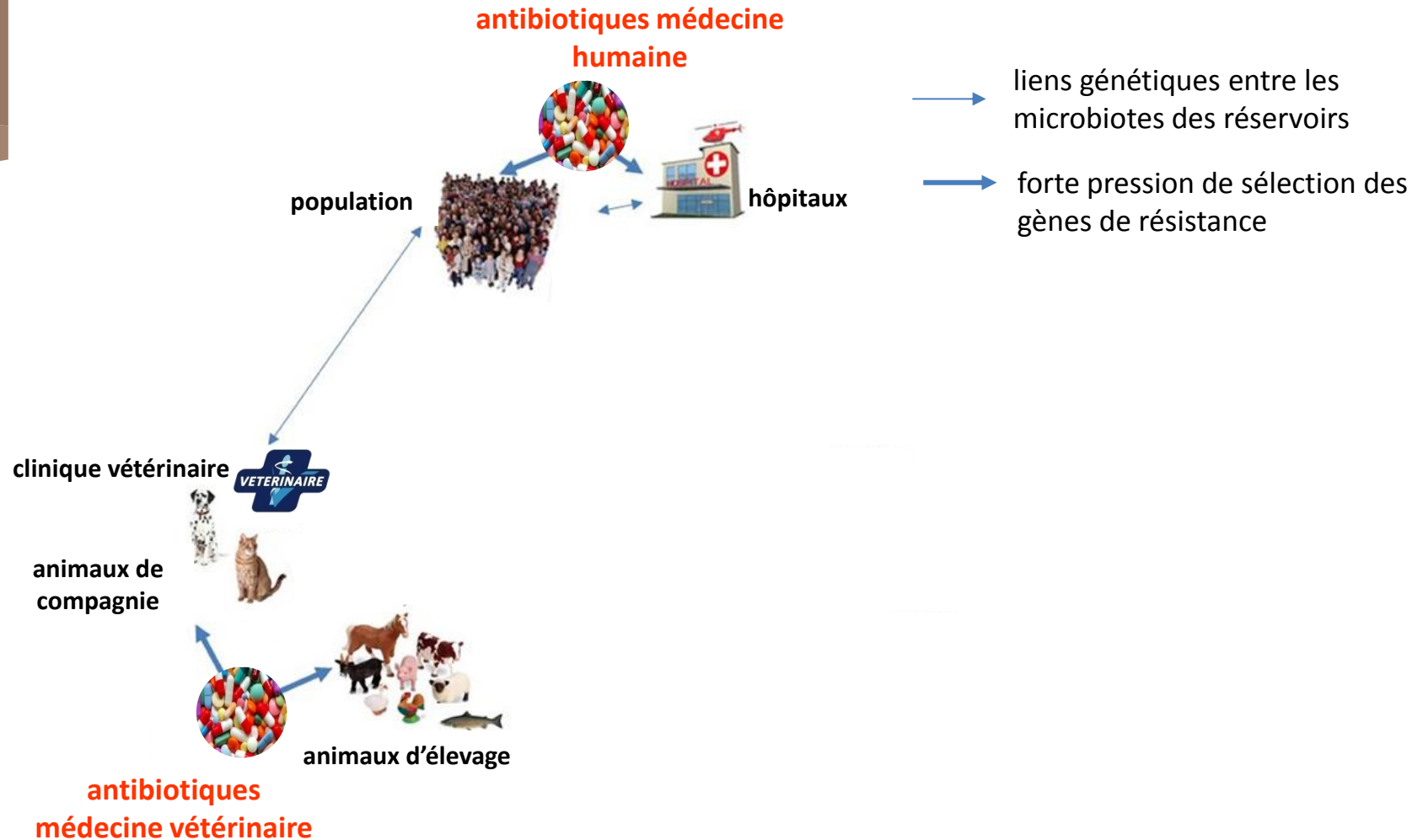


**conjugaison**

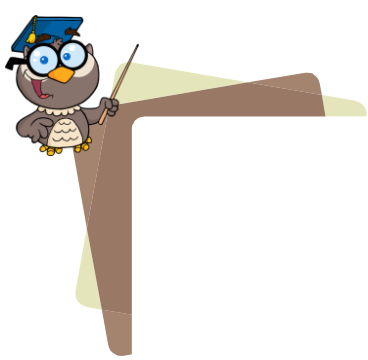




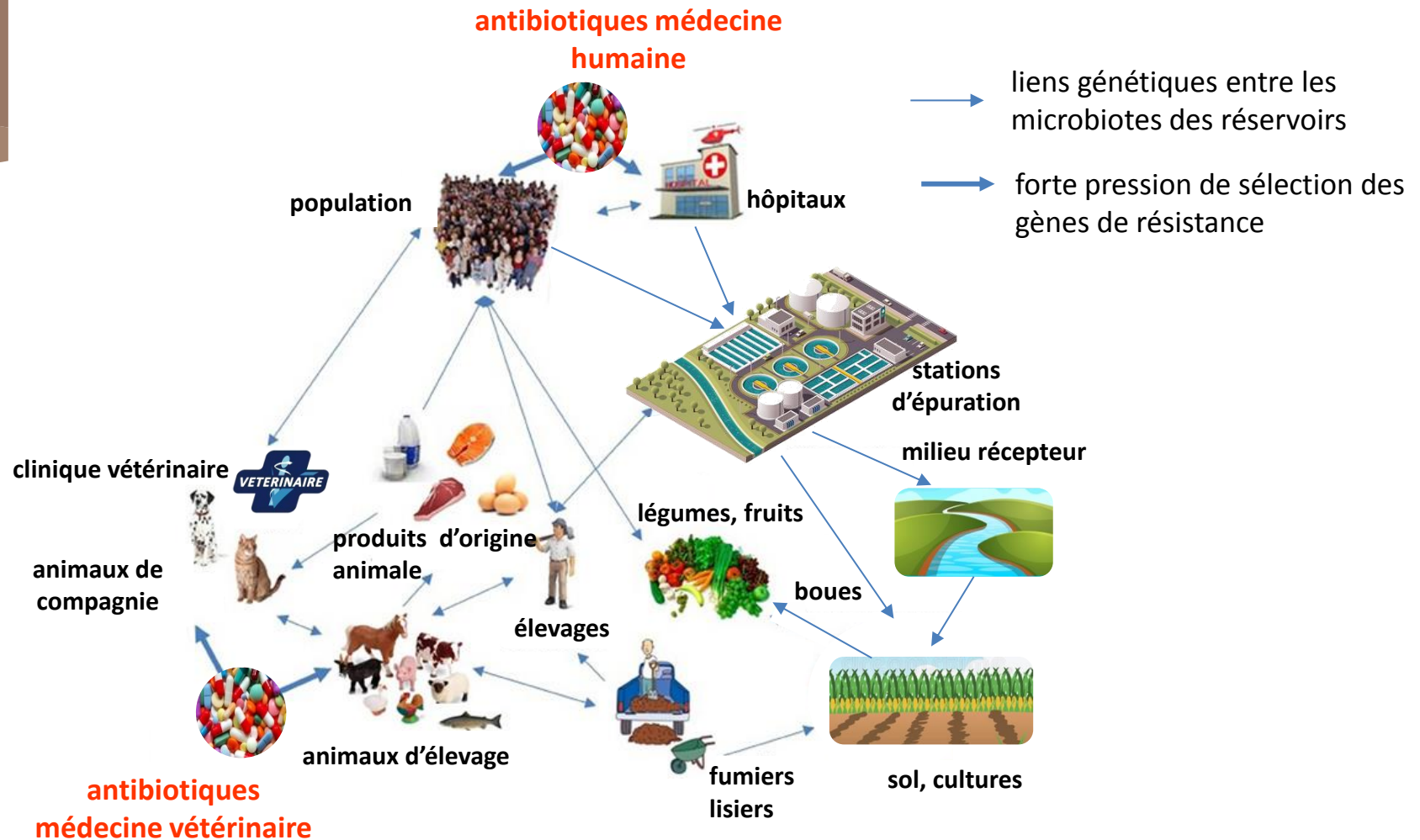
## Résistance : dissémination *via* l'environnement



Potentiel de communication entre les microbiotes concernés par l'utilisation d'atbs

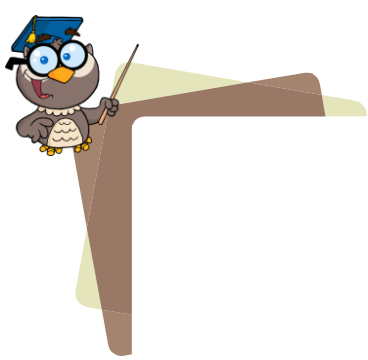


## Résistance : dissémination *via* l'environnement

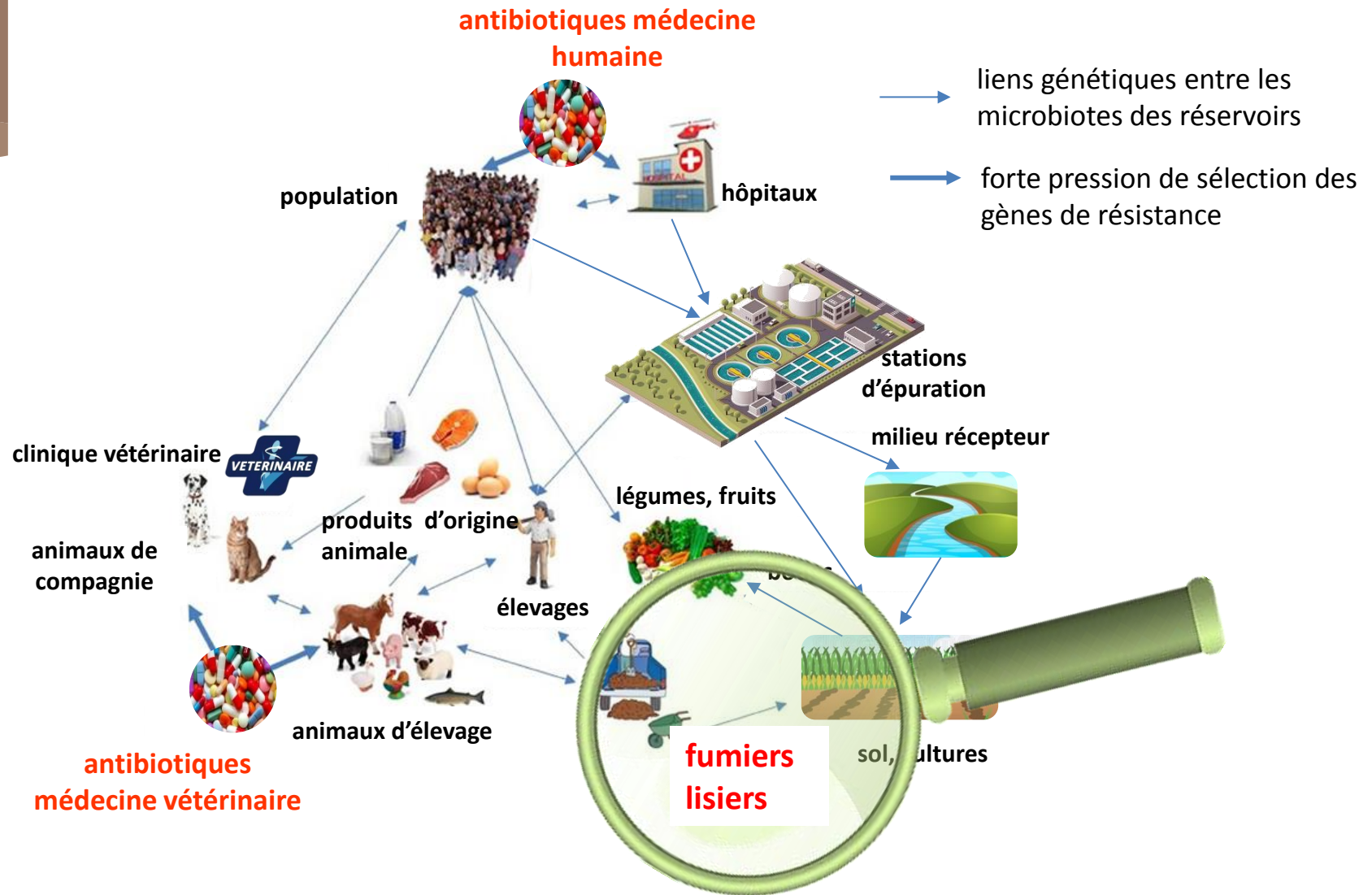


Potentiel de communication entre les microbiotes concernés par l'utilisation d'atbs

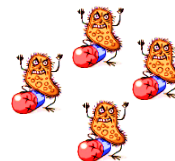
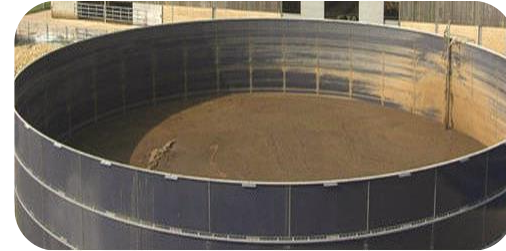
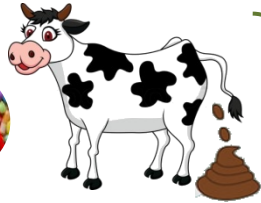




## Résistance : dissémination *via* l'environnement



Potentiel de communication entre les microbiotes concernés par l'utilisation d'atbs



## Atbs, métabolites + bactéries résistantes

# Devenir des bactéries résistantes aux antibiotiques dans les déjections animales

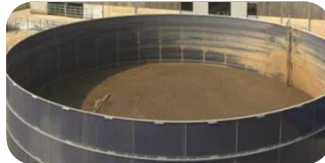


méthanisation

ou



compostage

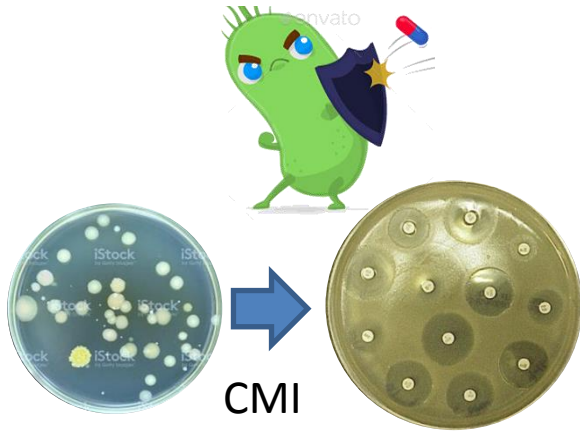


**Atbs, métabolites + bactéries  
résistantes**



2 approches

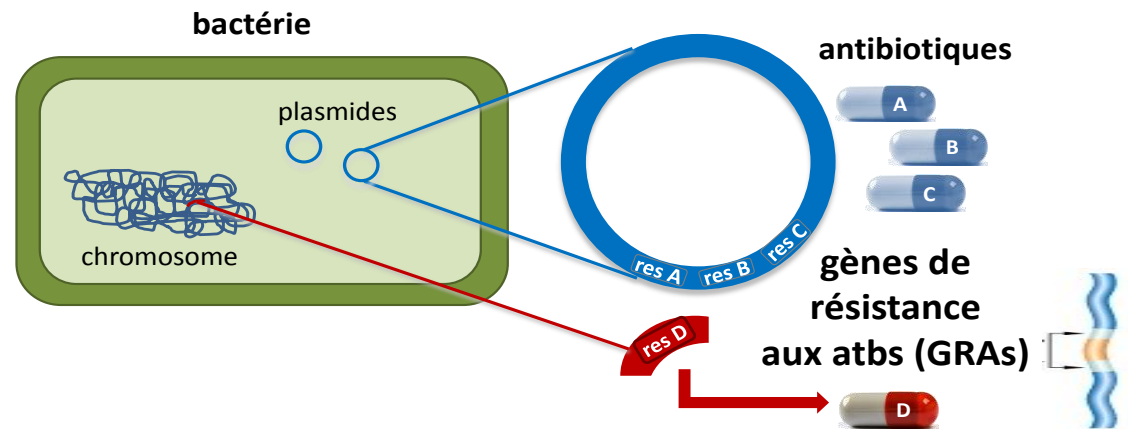
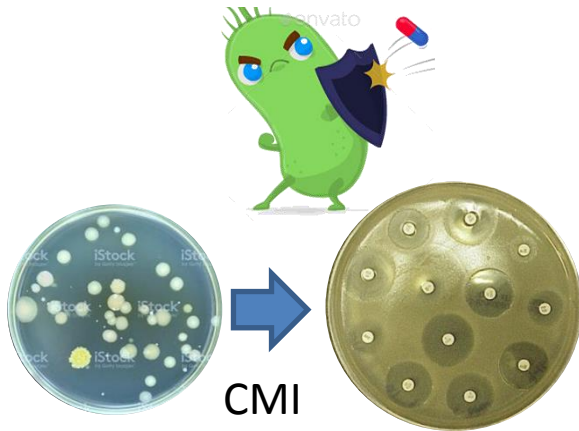
**Impact des traitements  
sur les bactéries  
résistantes (BRAs)**



## 2 approches

Impact des traitements  
sur les bactéries  
résistantes (BRAs)

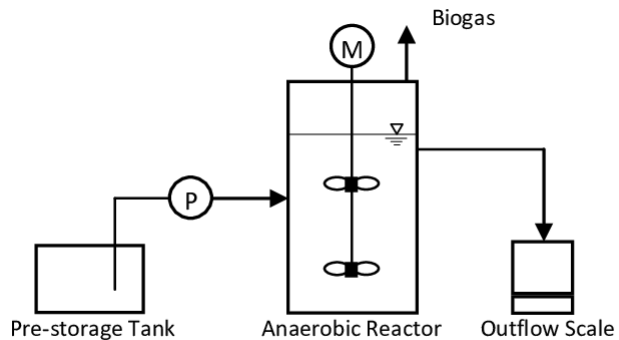
Impact  
des traitements sur les  
gènes de résistance  
(GRAs)



## 2 types d'études

Pilotes

terrain

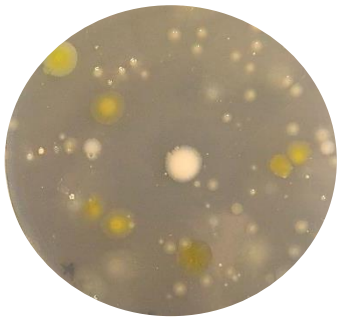


**Maîtrise des paramètres de fonctionnement**



**Études ponctuelles  
Représentatives de la réalité**

# Impact du compostage sur l'antibiorésistance



**BRAs :**  
**Bactéries hétérotrophes (28-30°C)**  
***E. coli***



# Impact du traitement à l'enrofloxacin des poulets sur la résistance à la ciprofloxacin des entérobactéries dans la litière



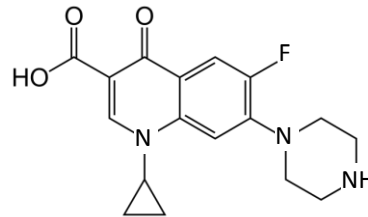
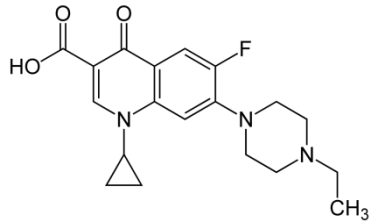
## Projet ANR EvaluFqVol

I. Kempf (ANSES de Ploufragan), Université d'Angers, Irstea Rennes

Poulets non traités : contrôle 

Animaux traités à l'enrofloxacin (ENR) pdt 5 jours 

Suivi de l'ENR et de son métabolite la ciprofloxacin (CIP)



Suivi des entérobactéries résistantes à la ciprofloxacin (CIP)

Stockage en tas

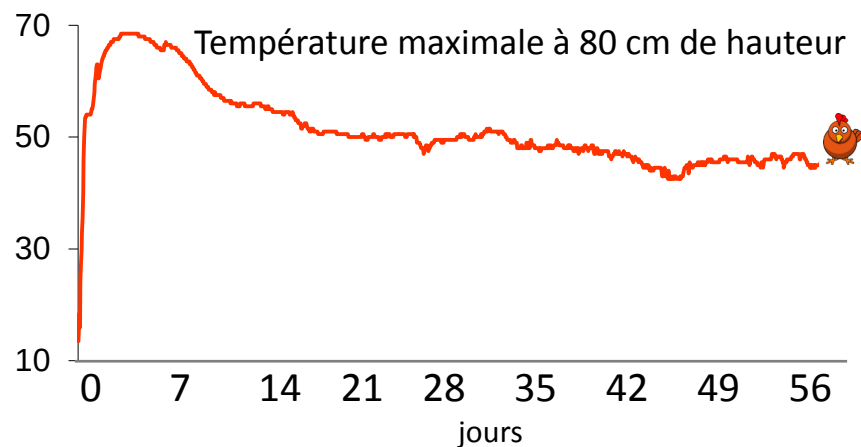


Épandage

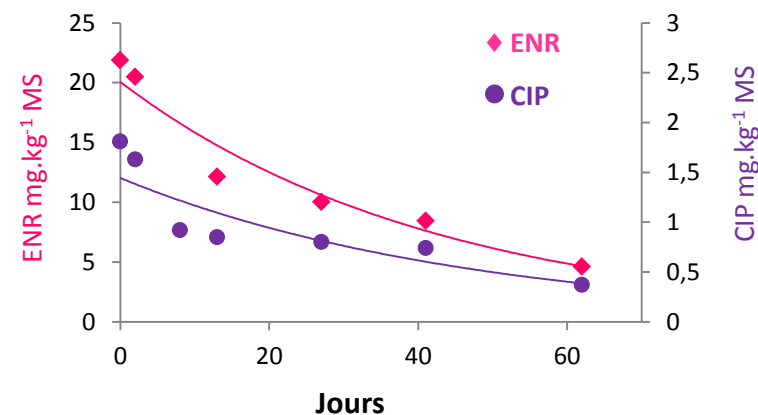
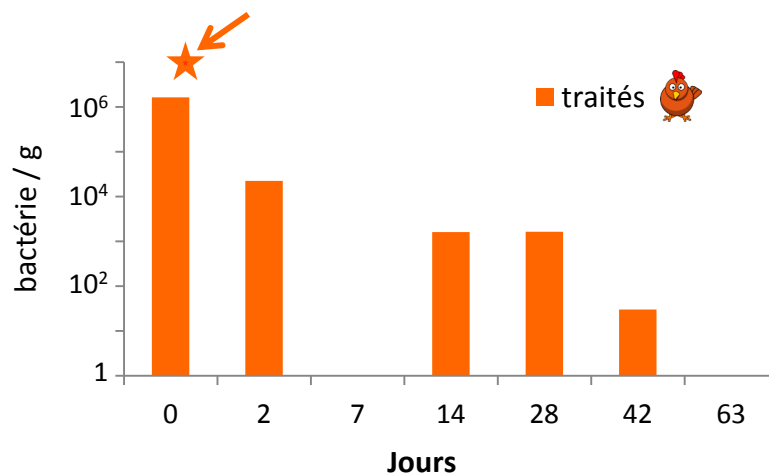


# Impact du stockage en tas sur les entérobactéries

## Projet ANR EvaluFqVol



## Présence de *E. coli* résistantes à la CIP



➤ des teneurs en entérobactéries

➤ des teneurs en en atbs

Entérobactéries CIP<sup>r</sup> non détectées après 2 jours de stockage

# Impact du stockage en tas sur les entérobactéries

## Projet ANR EvaluFqVol

### Stockage

Diminution des teneurs en ENR et en CIP

Mais pas totalement éliminées

*E. coli* persiste jusqu'à 42 jours



Mais *E. coli* résistantes à la CIP non détectées après 2 jours

### Epandage direct de la litière sur le sol

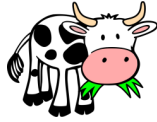
- Persistance des fluoroquinolones  $\geq 1$  mois
- Persistance de *E. coli* résistantes à la CIP  $\geq 3$  mois



# Impact du compostage sur *E. coli* résistantes



Sharma *et al.* 2009

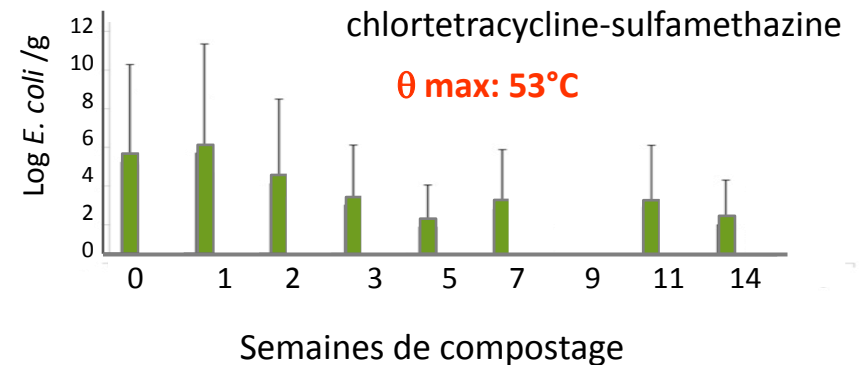
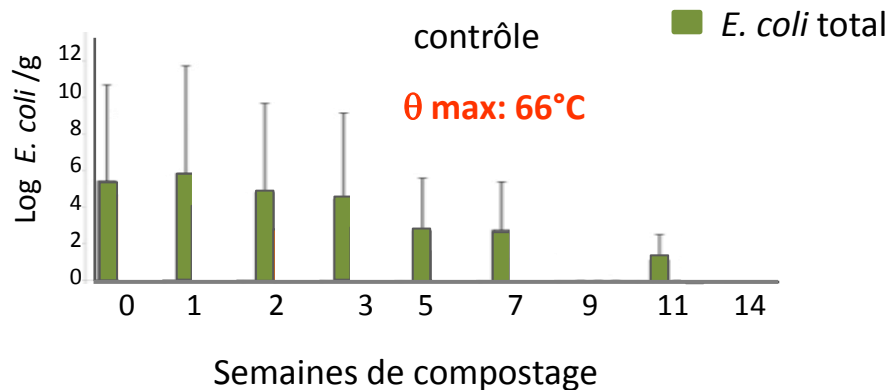


Animaux non traités aux atbs : contrôle

Animaux traités à la chlortetracycline-sulfaméthazine

Déjections bovines stockées 2 mois puis compostées en andain

*E. coli*, *E. coli* résistantes à l'ampicilline (Amp<sup>r</sup>) et à la tétracycline (Tet<sup>r</sup>)



Diminution progressive des *E. coli* ⇒ Abattement : 3-4 Log<sub>10</sub>

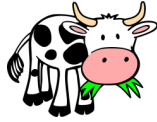
Impact peu visible de la température mais persistance plus longue à 53°C



# Impact du compostage sur *E. coli* résistantes



Sharma *et al.* 2009

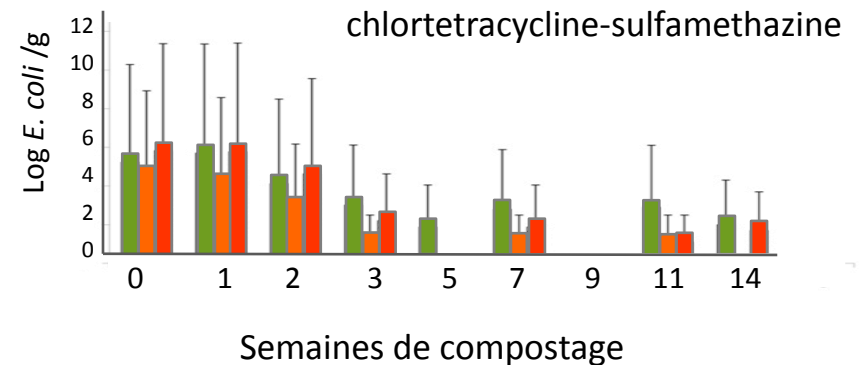
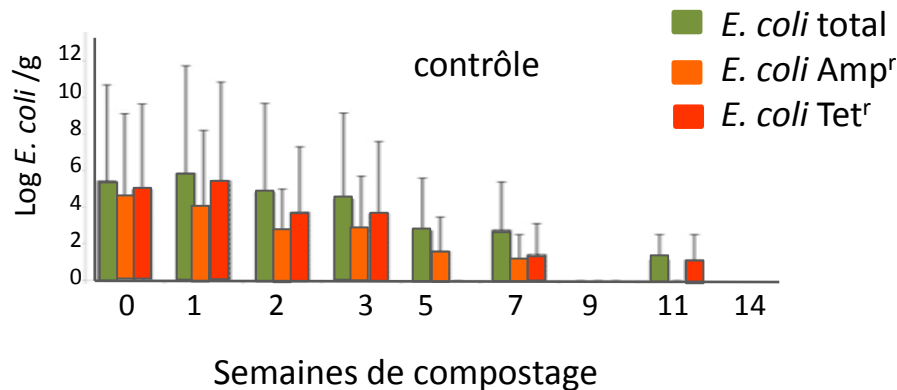


Animaux non traités aux atbs : contrôle

Animaux traités à la chlortetracycline-sulfaméthazine

Déjections bovines stockées 2 mois puis compostées en andain

*E. coli*, *E. coli* résistantes à l'ampicilline (Amp<sup>r</sup>) et à la tétracycline (Tet<sup>r</sup>)



Diminution progressive des *E. coli* ⇒ Abattement : 3-4 Log<sub>10</sub>

Comportements similaires des bactéries résistantes ou non

# Impact du compostage sur les bactéries résistantes : bilan

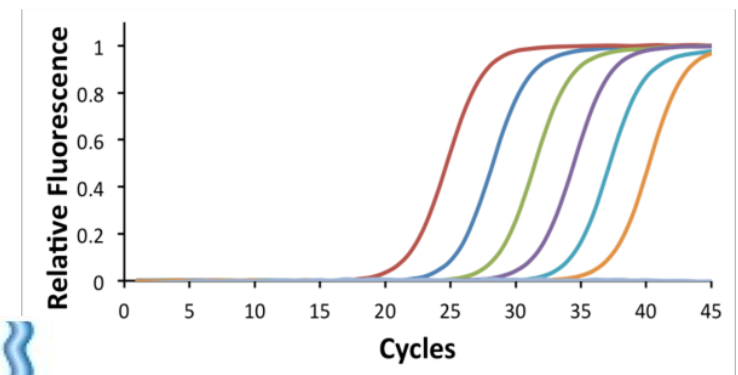
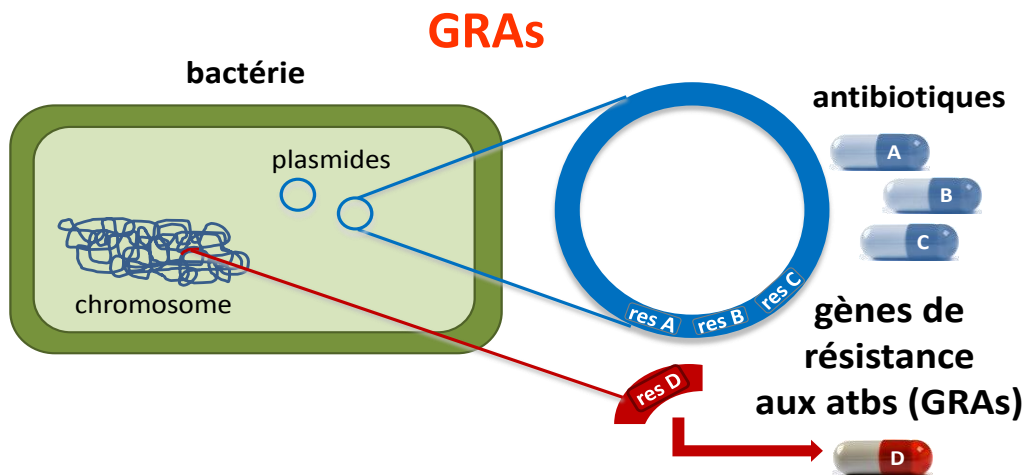


- Diminution des concentrations en bactéries résistantes aux atbs
- Variable selon les études : 0,5 à 6 Log<sub>10</sub>
- Pas d'élimination complète
- Rôle important de la température : attention aux zones « plus froides »

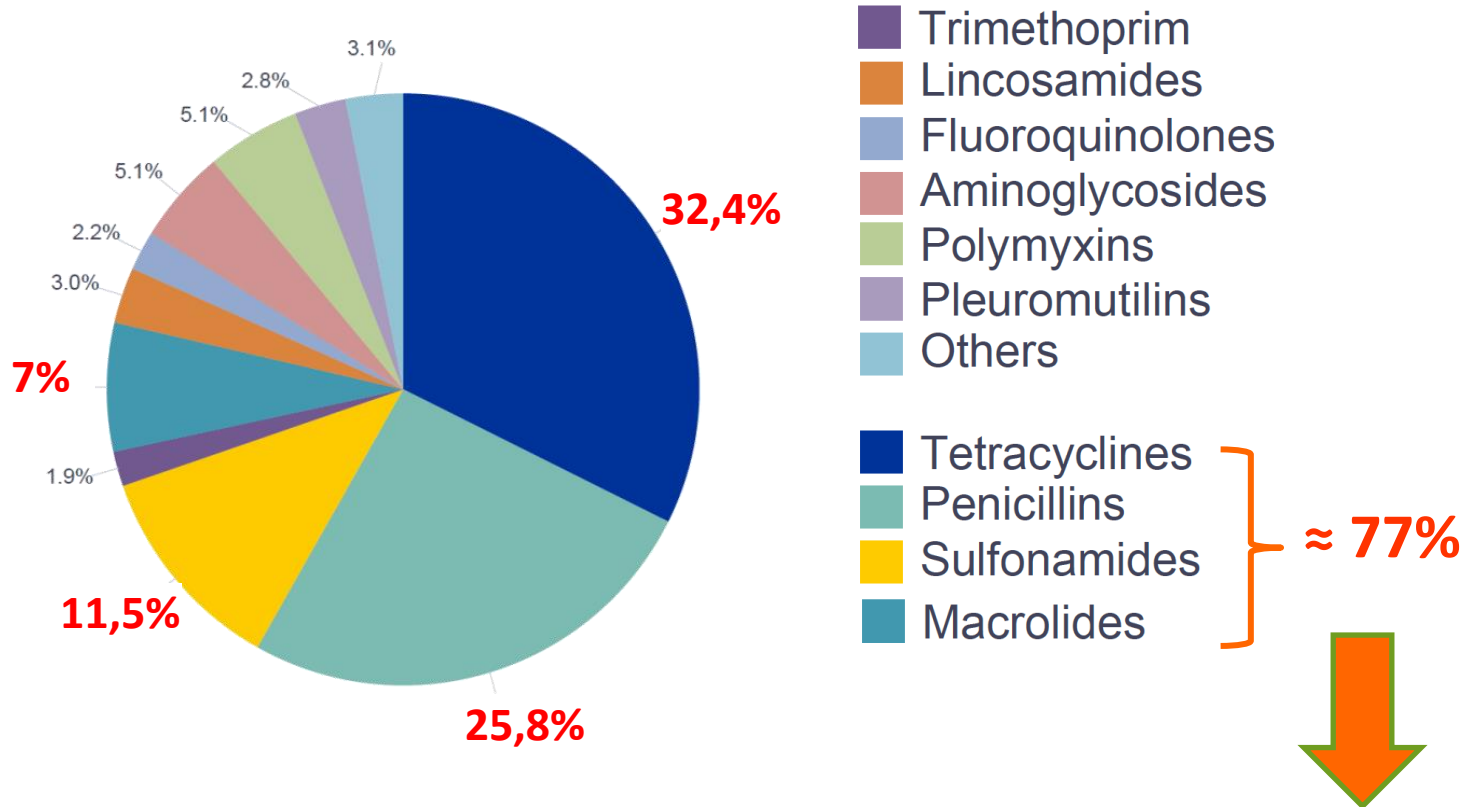




# Impact du compostage sur l'antibiorésistance



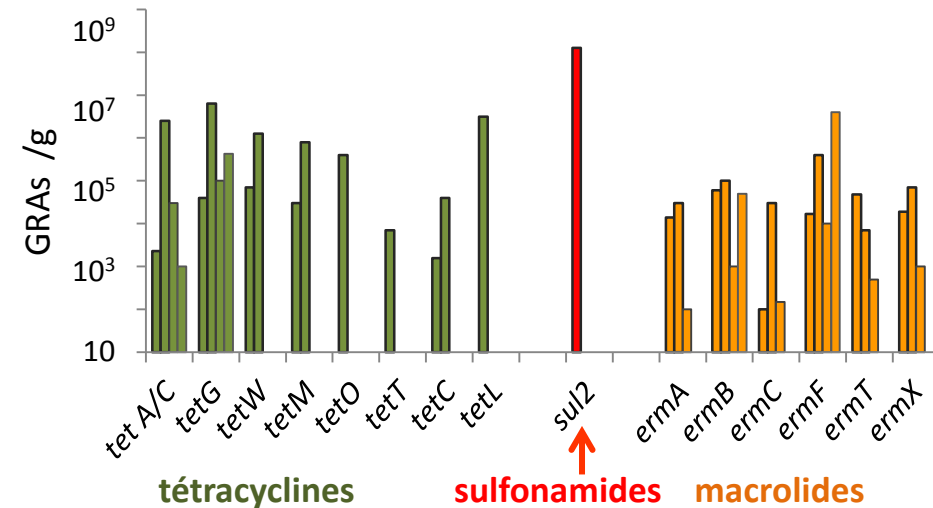
## Proportion des classes d'antibiotiques (animaux de rente) vendues en Europe en 2016



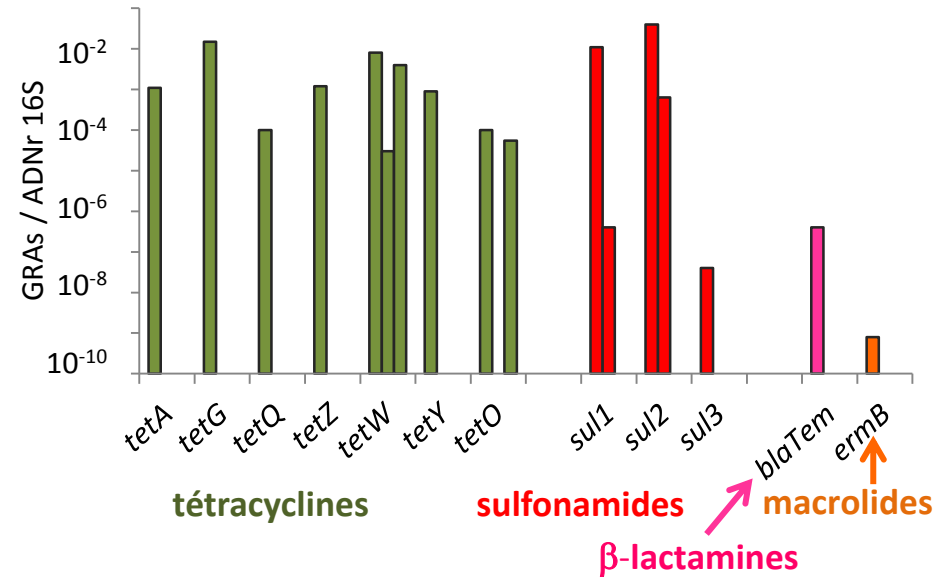
# Impact du compostage sur les GRAs



**Abondance absolue**  
copies de gènes / g compost



**Abondance relative**  
GRAs / population totale (copies de gènes)



**Concentrations variables :**  
entre 10<sup>2</sup> et 10<sup>8</sup> GRAs / g

**Proportion de GRAs / population**  
totale : variables : 10<sup>-2</sup> à 10<sup>-9</sup>

# Comparaison compostage et stockage GRAs



Wang *et al.* 2012  $\Rightarrow$  pilote



porcs traités  
érythromycine  
tétracycline

**pilote**



$\theta_{\text{fixe}} : 55^{\circ}\text{C}$

**compostage**

3,3 kg fumier  
+ 1,5 kg sciure  
+ 1,5 L eau



3,3 kg fumier  
+ 3 L eau

$\theta_{\text{ambiante}}$

**stockage en lagune**

# Comparaison compostage et stockage GRAs



Wang *et al.* 2012  $\Rightarrow$  pilote



porcs traités  
érythromycine  
tétracycline

**pilote**



3,3 kg fumier  
+ 1,5 kg sciure  
+ 1,5 L eau

$\theta_{\text{fixe}} : 55^{\circ}\text{C}$

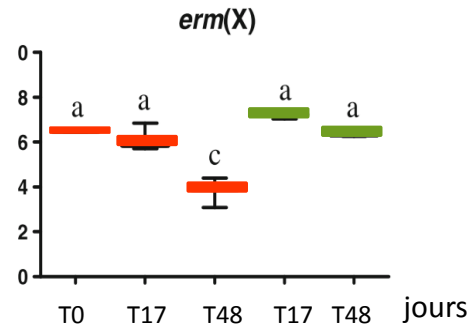
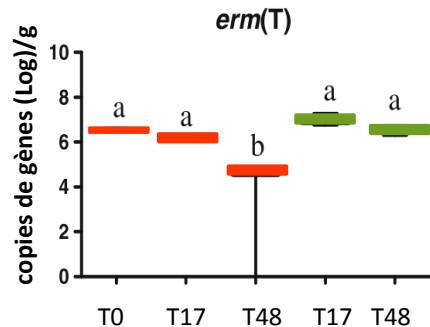
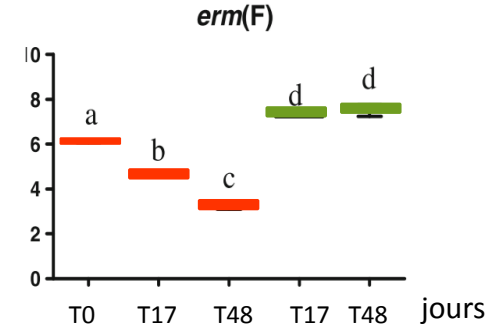
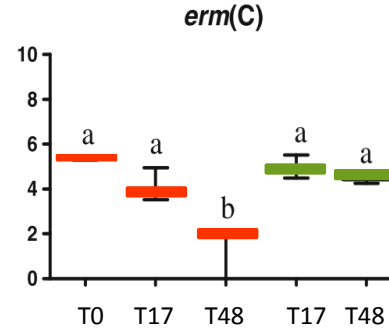
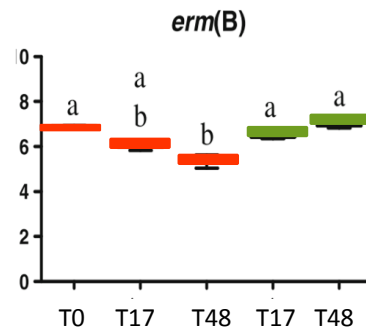
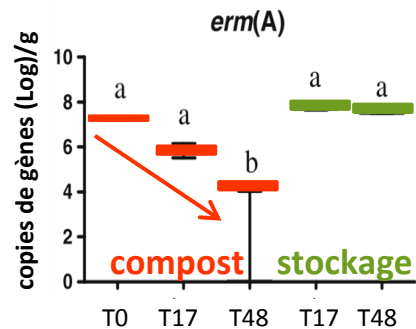
**compostage**



3,3 kg fumier  
+ 3 L eau

$\theta_{\text{ambiante}}$

**stockage en lagune**

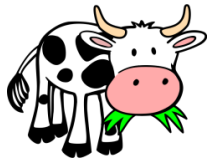


**Compost :**  
**Abattement des GRAs : 1 à 4 Log**

**Stockage : pas d'abattement**

# Comparaison compostage et stockage

Xu et al. 2015



Bovins traités avec :

- chlortétracycline (CTC)
- mélange CTC/ sulfaméthazine (CTCSMZ)
- tylosine (TYL)



Bovins non traités  $\Rightarrow$  contrôle

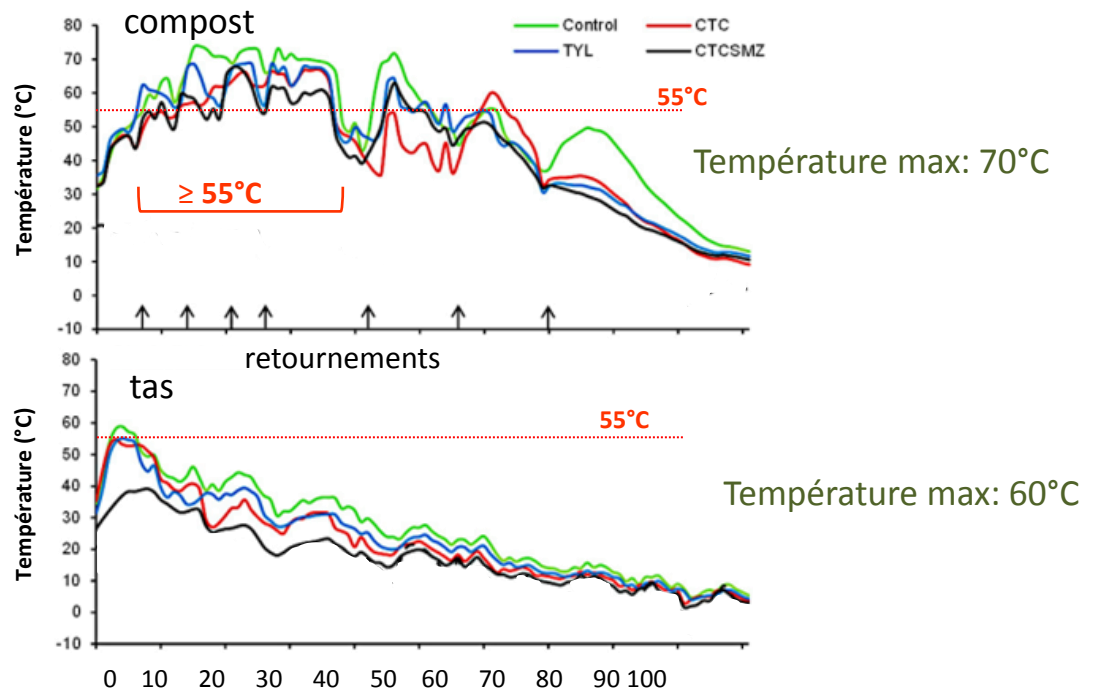


Fumier :

andains  $\Rightarrow$  compostage

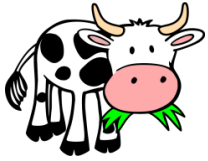
tas  $\Rightarrow$  stockage

Durée : 102 jours



# Comparaison compostage et stockage

Xu et al. 2015



Bovins traités avec :



- chlortétracycline (CTC)
- mélange CTC/ sulfaméthazine (CTCSMZ)
- tylosine (TYL)

Bovins non traités  $\Rightarrow$  contrôle

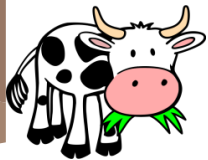
**quantification de gènes de résistance à la tétracycline, érythromycine et sulfaméthazine :**

*tet(B), tet(C), tet(L), tet(M), tet(W), erm(A), erm(B), erm(F), erm(X), sul(1), sul(2)*



# Comparaison compostage et stockage

Xu et al. 2015

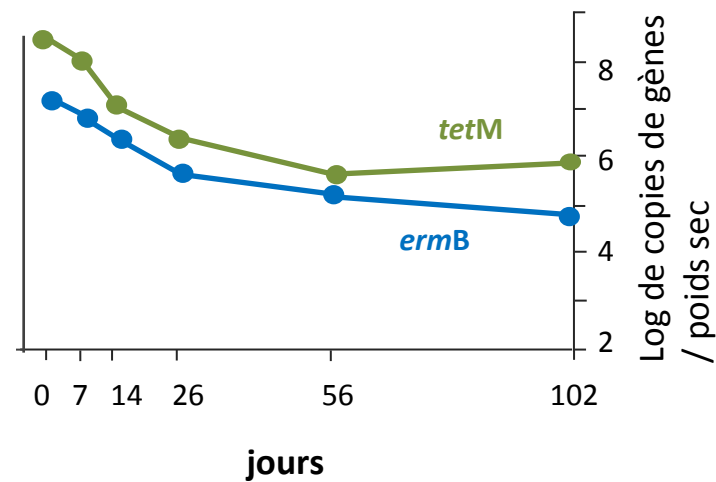


Abattement en log des concentrations en GRAs après 102 jours  
(traitements des animaux et mode de gestion des effluents confondus)

|                                   | <i>tet</i> (B) | <i>tet</i> (C) | <i>tet</i> (L) | <i>tet</i> (M) | <i>tet</i> (W) | <i>erm</i> (A) | <i>erm</i> (B) | <i>erm</i> (F) | <i>erm</i> (X) | <i>sul</i> (1) | <i>sul</i> (2) |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Réduction<br>(Log <sub>10</sub> ) | 1,6            | 2,1            | 0,8            | 2,2            | 2,0            | 2,1            | 2,0            | 1,1            | 2,8            | 0,5            | 0,9            |

## Impact significatif :

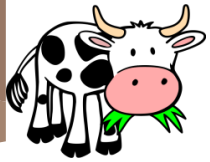
- durée de compostage ou de stockage  
tous les gènes sauf *sul*(1)



compost

# Comparaison compostage et stockage

Xu et al. 2015

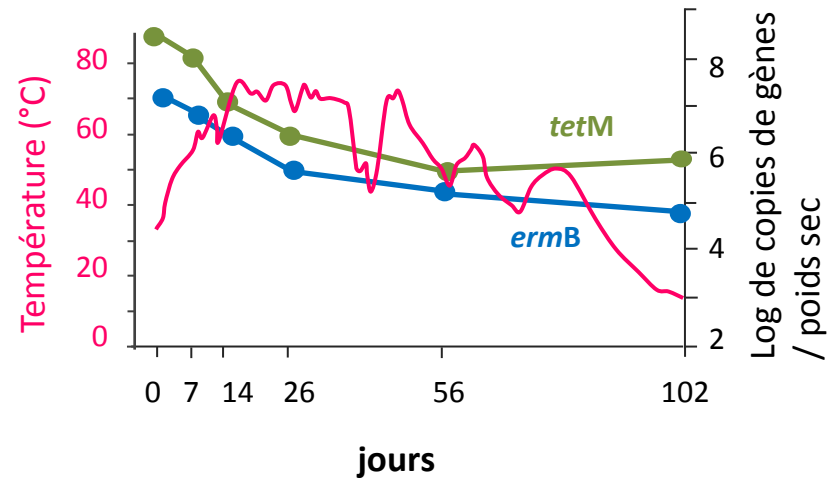


Abattement en log des concentrations en GRAs après 102 jours  
(traitements des animaux et mode de gestion des effluents confondus)

|                                   | <i>tet(B)</i> | <i>tet(C)</i> | <i>tet(L)</i> | <i>tet(M)</i> | <i>tet(W)</i> | <i>erm(A)</i> | <i>erm(B)</i> | <i>erm(F)</i> | <i>erm(X)</i> | <i>sul(1)</i> | <i>sul(2)</i> |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Réduction<br>(Log <sub>10</sub> ) | 1,6           | 2,1           | 0,8           | 2,2           | 2,0           | 2,1           | 2,0           | 1,1           | 2,8           | 0,5           | 0,9           |

## Impact significatif :

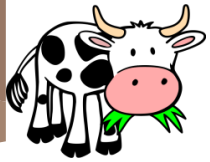
- durée de compostage ou de stockage  
tous les gènes sauf *sul(1)*



compost

# Comparaison compostage et stockage

Xu et al. 2015



Abattement en log des concentrations en GRAs après 102 jours  
(traitements des animaux et mode de gestion des effluents confondus)

|                                   | <i>tet(B)</i> | <i>tet(C)</i> | <i>tet(L)</i> | <i>tet(M)</i> | <i>tet(W)</i> | <i>erm(A)</i> | <i>erm(B)</i> | <i>erm(F)</i> | <i>erm(X)</i> | <i>sul(1)</i> | <i>sul(2)</i> |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Réduction<br>(Log <sub>10</sub> ) | 1,6           | 2,1           | 0,8           | 2,2           | 2,0           | 2,1           | 2,0           | 1,1           | 2,8           | 0,5           | 0,9           |

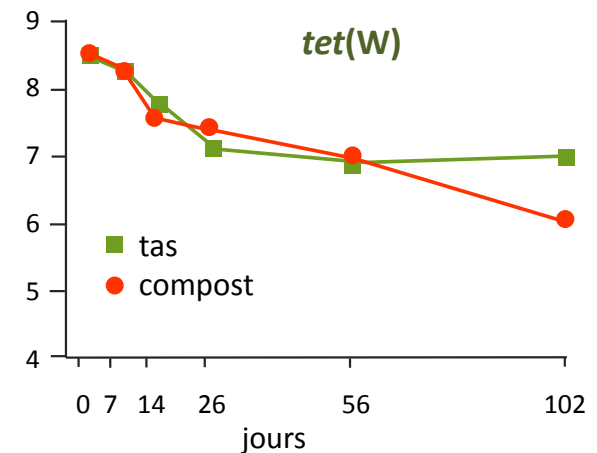
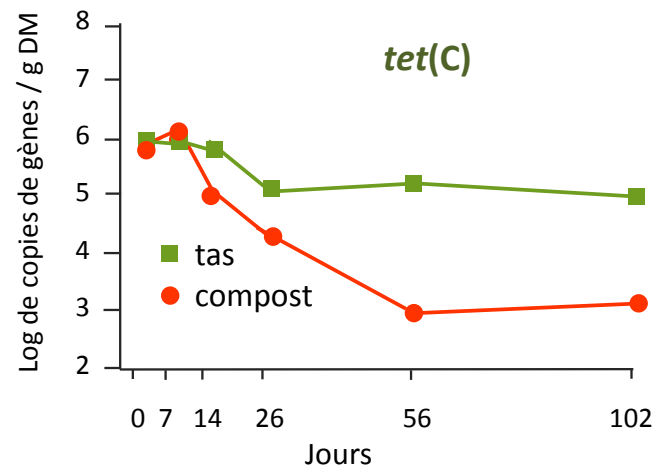
## Impact significatif :

- mode de gestion

(compost vs stockage en tas)

7 / 11

⇒ *tet(C)*, *tet(L)*, *tet(M)*,  
*tet(W)*, *erm(B)*, *erm(X)*, *sul(2)*



# Impact du compostage sur les GRAs : bilan



## Réponse multifactorielle

- gène
- température
- durée du compostage

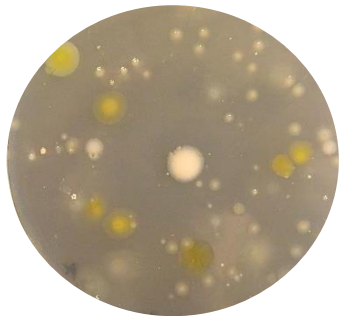
Abattements variables selon les gènes : 0 à 4 Log<sub>10</sub>

Impact du compostage > stockage





# Impact de la méthanisation sur l'antibiorésistance



**BRAs :**  
**Bactéries hétérotrophes (30°C)**  
***E. coli***



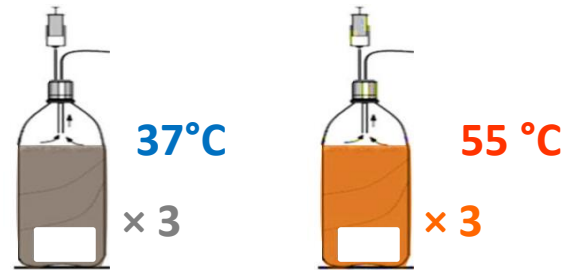
# Comparaison Mésophilie vs Thermophilie

Beneragama et al. 2013



digestat de lisier de vaches + lisier de vaches laitières (50/50, v/v)

Réacteur batch pendant 22 jours  
en conditions anaérobies



Dénombrement des bactéries multi-résistantes avant et après incubation anaérobie sur des milieux contenant des ATBs à 50 mg/L

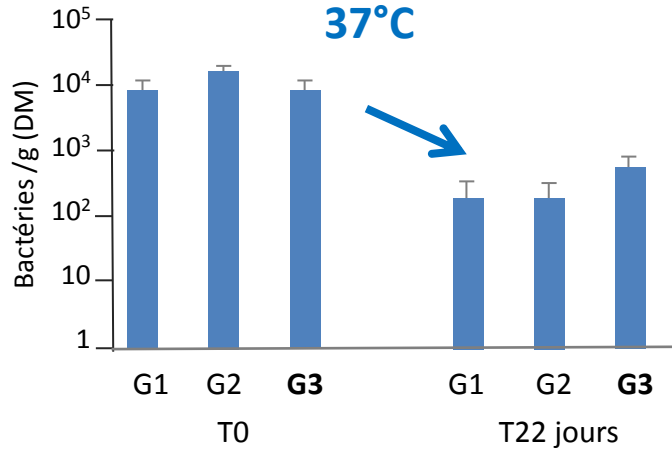
**Groupe 1 (G1) :**      **résistance à 4 ATBs**  
céfazoline, néomycine, vancomycine, kanamycine

**Groupe 2 (G2) :**      **résistance à 4 ATBs**  
pénicilline, oxytetracycline, ampicilline, streptomycine

**Groupe 3 (G3) :**      **résistance aux 8 ATBs**

# Comparaison Mésophilie vs Thermophilie

Beneragama et al. 2013

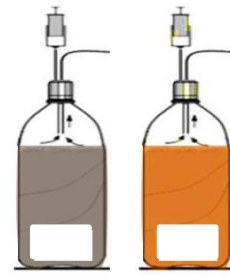
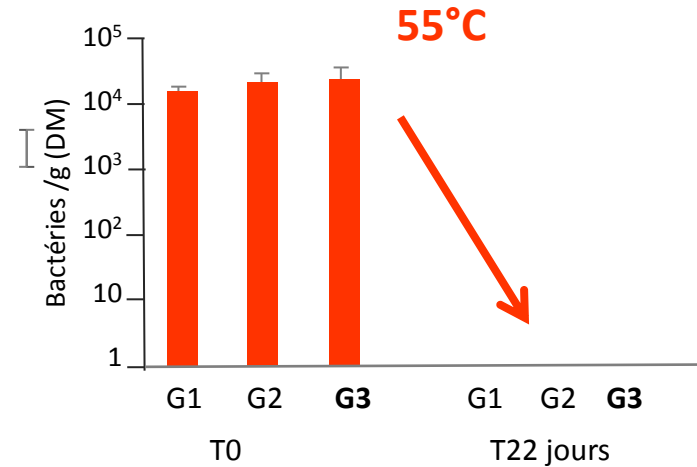
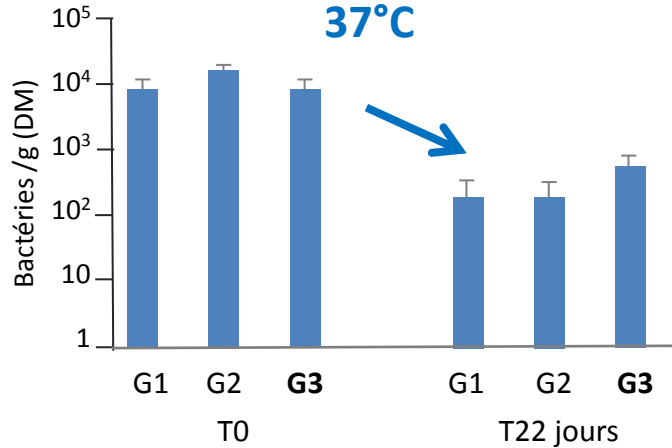


Teneur initiale en bactéries multi-résistantes  $\approx 10^4$  bactéries /g de mélange

**Digestion anaérobie mésophile : 2 log<sub>10</sub> d'abattement**

# Comparaison Mésophilie vs Thermophilie

Beneragama et al. 2013



Teneur initiale en bactéries multi-résistantes  $\approx 10^4$  bactéries /g de mélange

**Digestion anaérobie mésophile :  $2 \log_{10}$  d'abattement**

**Digestion anaérobie thermophile : abattement  $> 4 \log_{10}$**



**Impact de la température sur les BRAs**



# Impact de la méthanisation sur les bactéries résistantes : bilan



**Présence de *E. coli* résistantes aux beta-lactamines dans les digestats (Schauss *et al.*, 2015)**

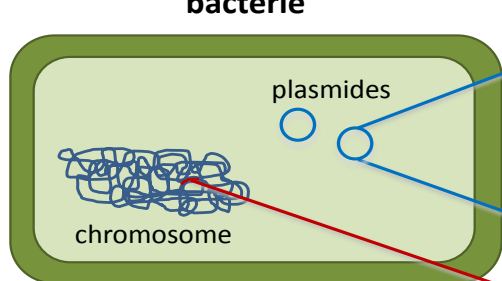
**Méthanisation thermophile  $\Rightarrow$  abattement plus important que méthanisation mésophile (Beneragama *et al.*, 2013)**



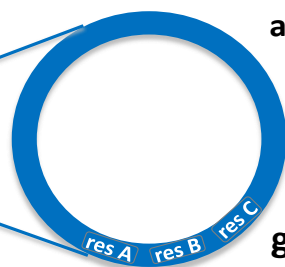
# Impact de la méthanisation sur l'antibiorésistance



bactérie



**GRAs**



antibiotiques

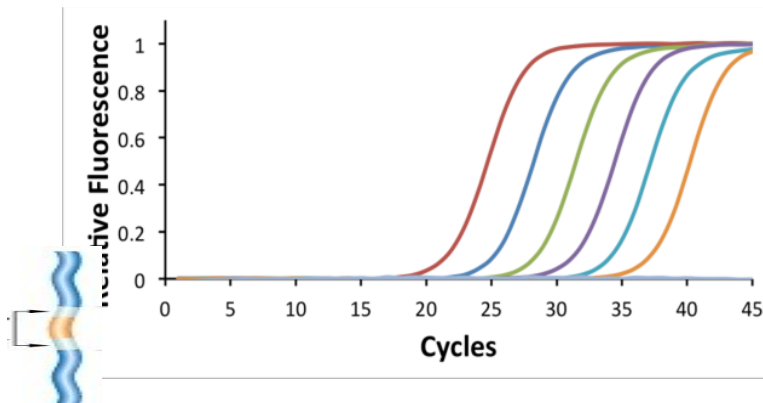


gènes de  
résistance  
aux atbs (GRAs)

res D



relative fluorescence

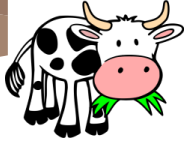


# Impact de la méthanisation sur les GRAs

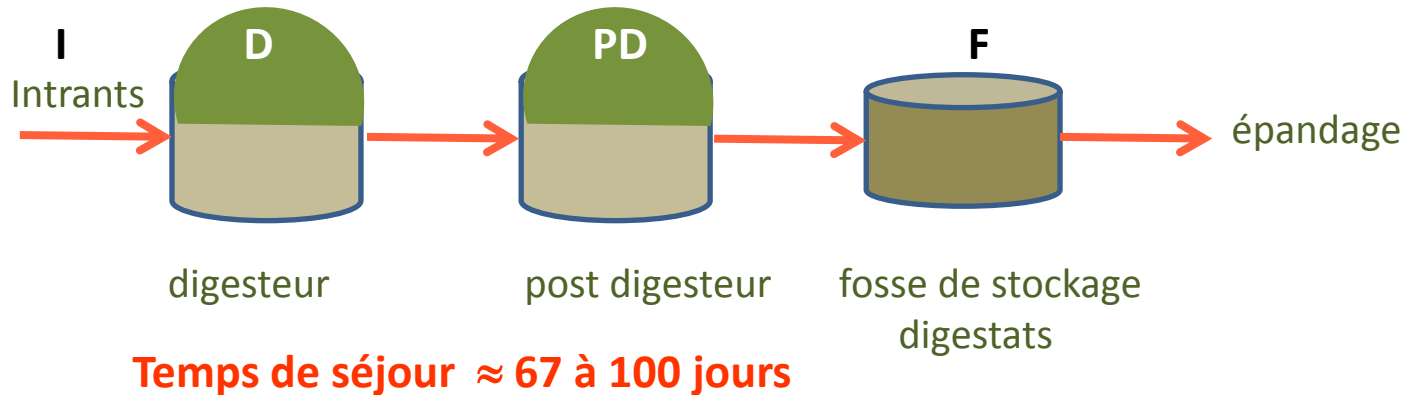


Wolters *et al.* 2016

5 méthaniseurs agricoles mésophiles en Allemagne



Essentiellement porcins et bovins + co-substrats



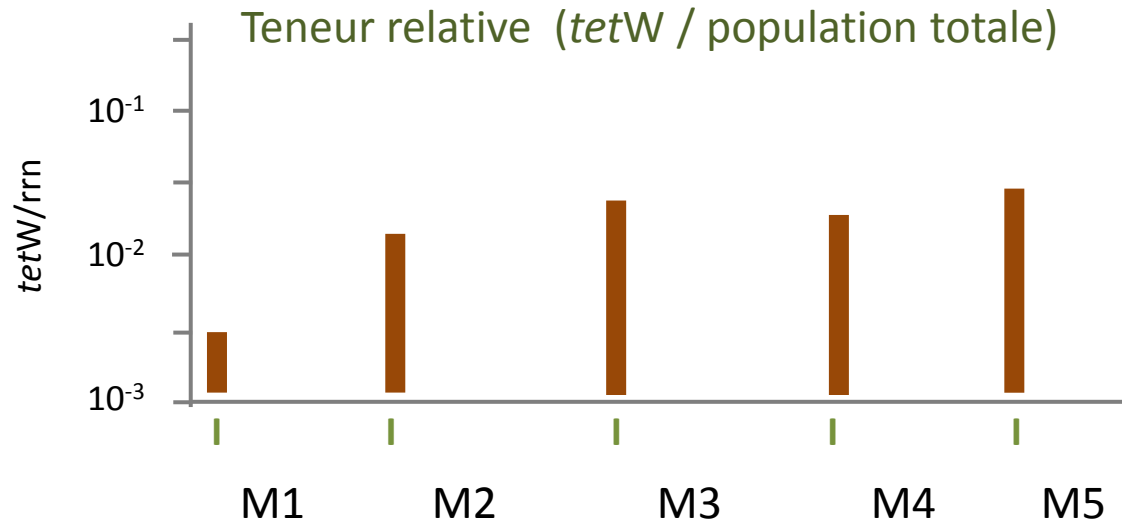
Quantification de 5 GRAs : *tetM*, *tetQ*, *tetW*, *sul1*, *sul2*

# Impact de la méthanisation sur les GRAs



Wolters *et al.* 2016

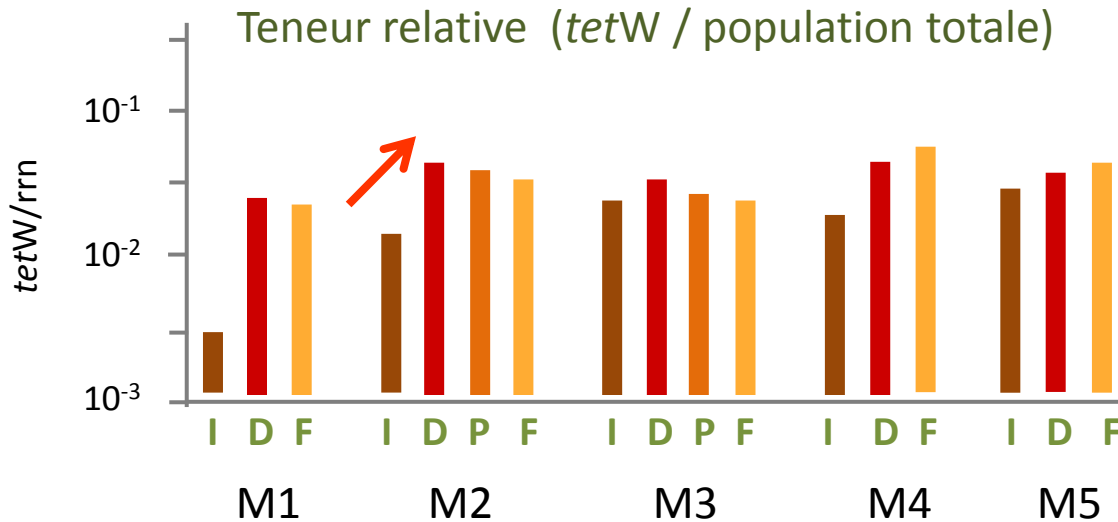
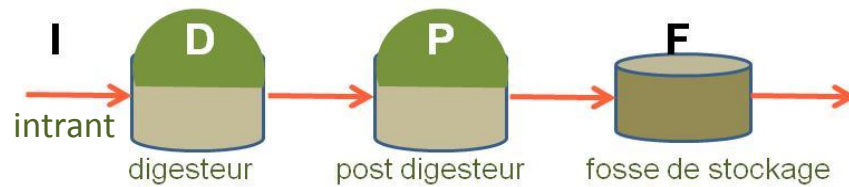
I  
→  
intrant



# Impact de la méthanisation sur les GRAs



Wolters *et al.* 2016



Augmentation de l'abondance relative des gènes *tetW* dans les digestats

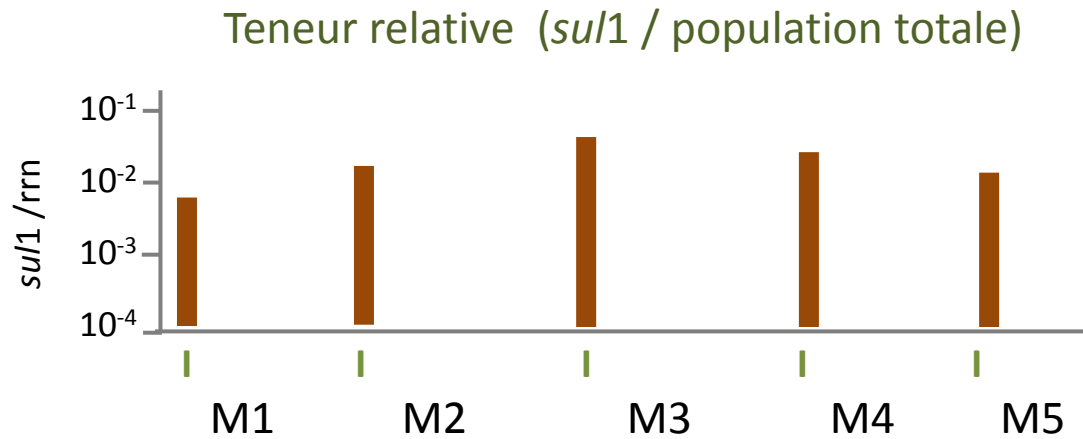
# Impact de la méthanisation sur les GRAs



Wolters *et al.* 2016

I  
→  
intrant

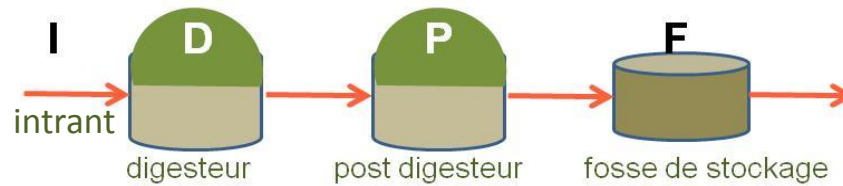
*tetM*, *tetQ*, *sul1*, *sul2* : comportement similaire



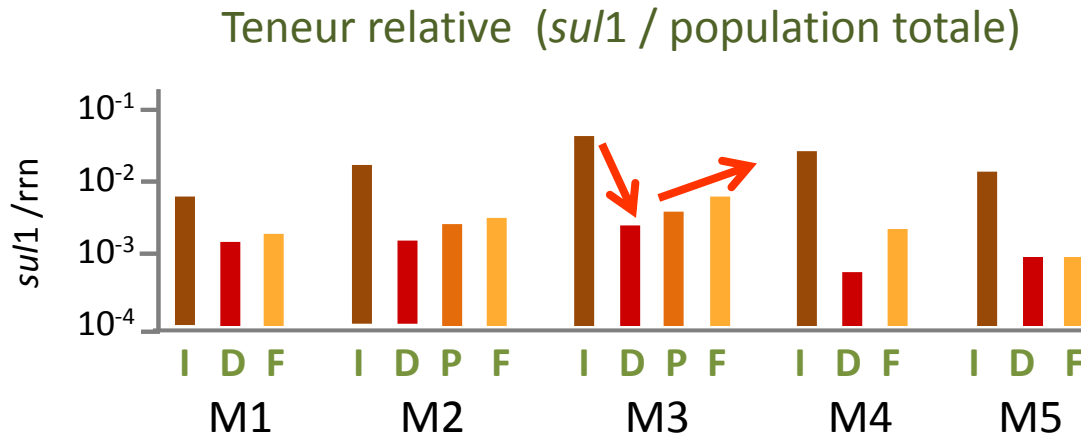
# Impact de la méthanisation sur les GRAs



Wolters et al. 2016



*tetM*, *tetQ*, *sul1*, *sul2* : comportement similaire



Diminution de l'abondance relative des GRAs  
mais pas de disparition

Légère augmentation dans les post-digesteurs et lors du stockage en fosse

# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



**Luo et al. 2017**

Intrants : lisiers ou boues de station d'épuration au Danemark

14 prélèvements



7 méthaniseurs alimentés avec du lisier



5 méthaniseurs mésophiles alimentés  
avec des boues de stations d'épuration

# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Intrants : lisiers ou boues de station d'épuration au Danemark

14 prélèvements



7 méthaniseurs alimentés avec du lisier

3 mésophiles (MM) 4 thermophiles (MT)

3 éch.  
MM1 MM2, MM3

6 éch.  
MT1, MT2a, MT2b, MT3a, MT3b, MT4

TSH : 21 - 32 jours  
Temp: 37 - 40°C

TSH : 3 - 24 jours  
Temp: 50-53°C

5 méthaniseurs mésophiles alimentés  
avec des boues de stations d'épuration

5 éch.  
SM1, SM2, SM3, SM4, SM5

TSH : 19 - 30 jours  
Temp: 36-39°C

# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Intrants : lisiers ou boues de station d'épuration au Danemark

14 prélèvements



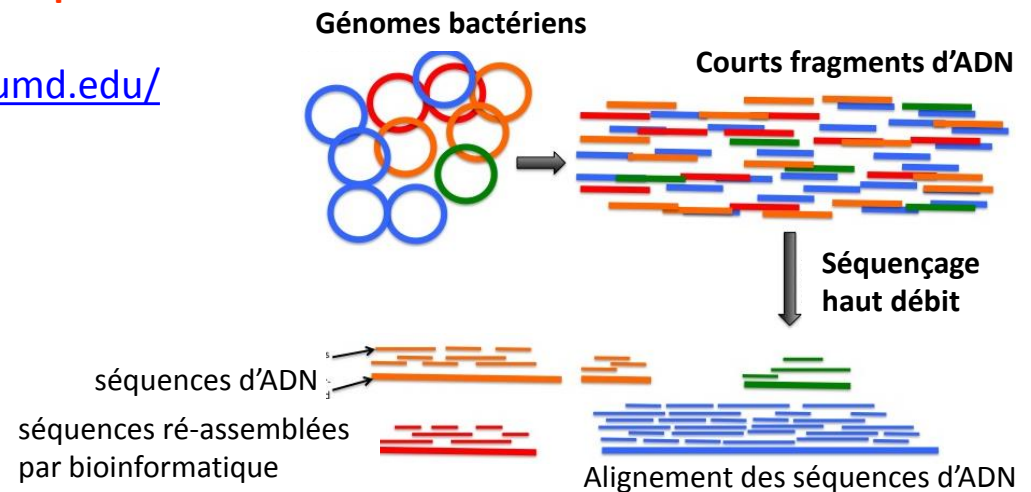
Recherche des GRAs  $\Rightarrow$  approche métagénomique

Identification des GRAs

$\Rightarrow$  base de données ARDB <http://ardb.cbcb.umd.edu/>

Analyse des populations bactériennes

$\Rightarrow$  approche métagénomique



<https://teachthemicrobiome.weebly.com/sequencing-the-microbiome.html>

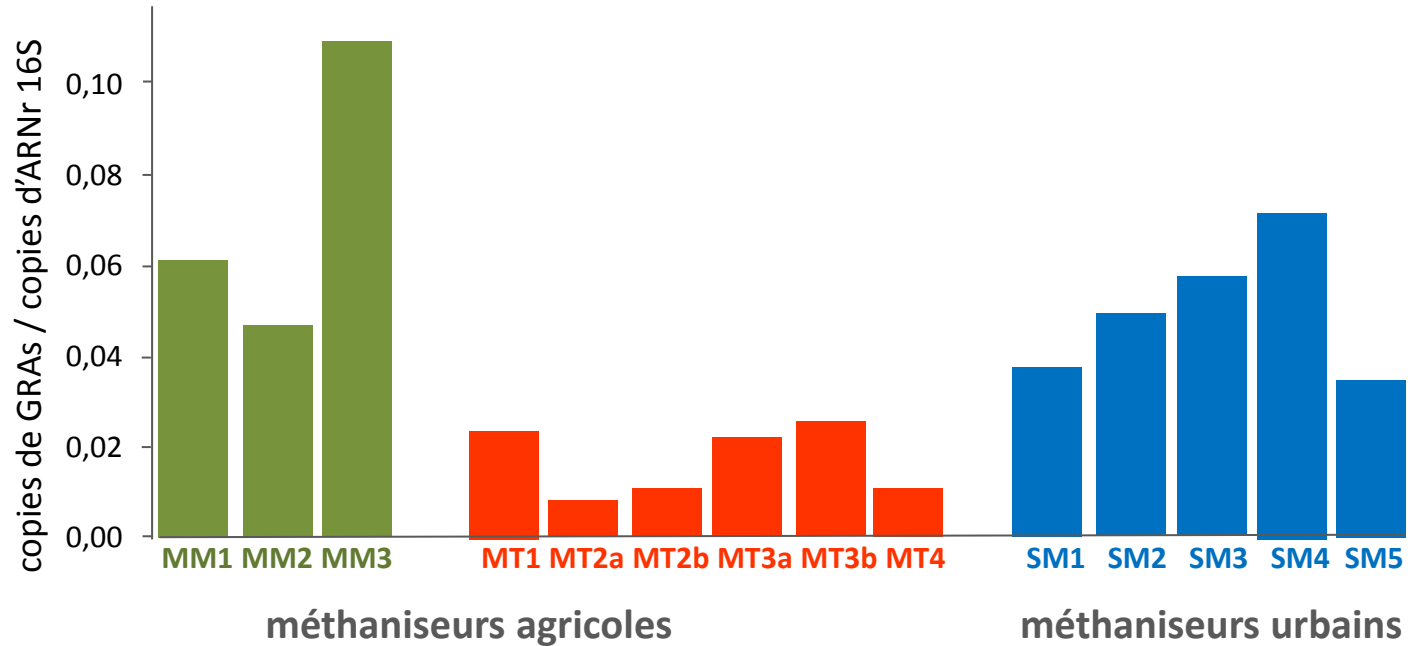
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo et al. 2017

### Abondance relative des GRAs dans chaque type de digestats



Différence significative des teneurs relatives en GRAs entre méthaniseurs thermophiles et mésophiles



La température thermophile peut contrôler l'abondance des GRAs

Pas de différence significative entre méthaniseurs mésophiles agricoles et urbains

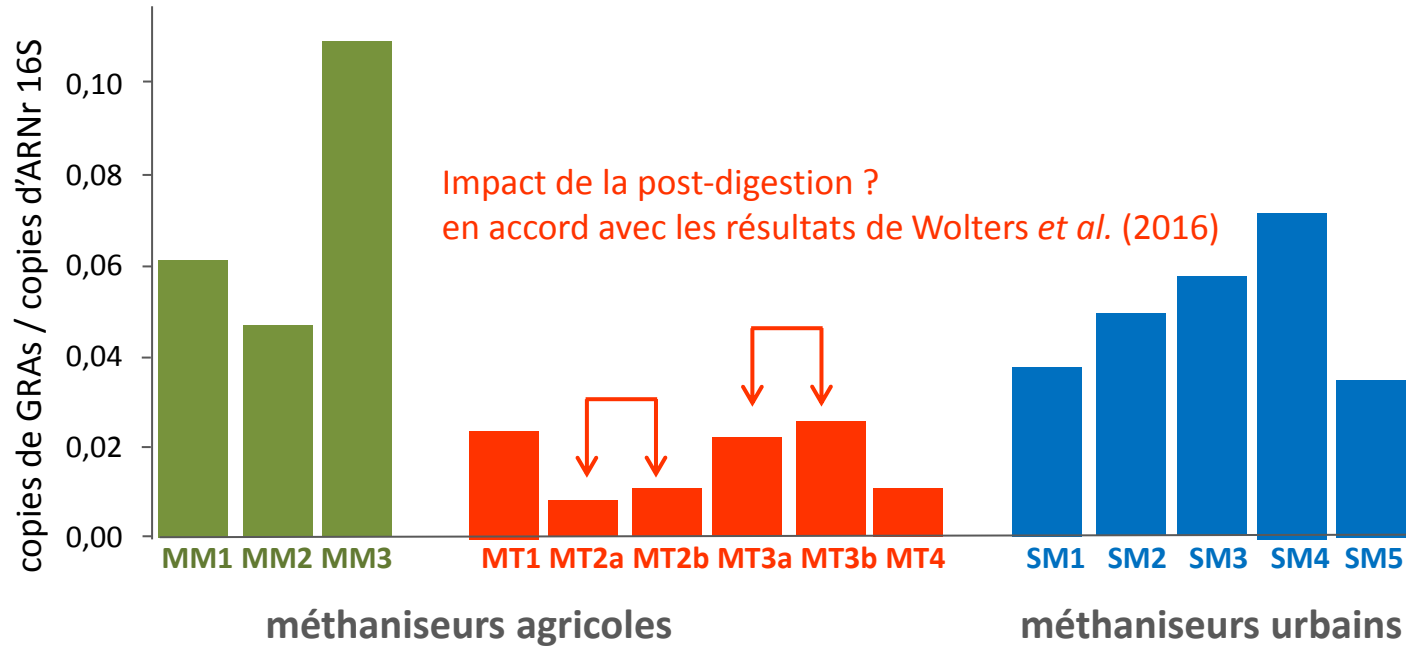
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

### Abondance relative des GRAs dans chaque type de digestats



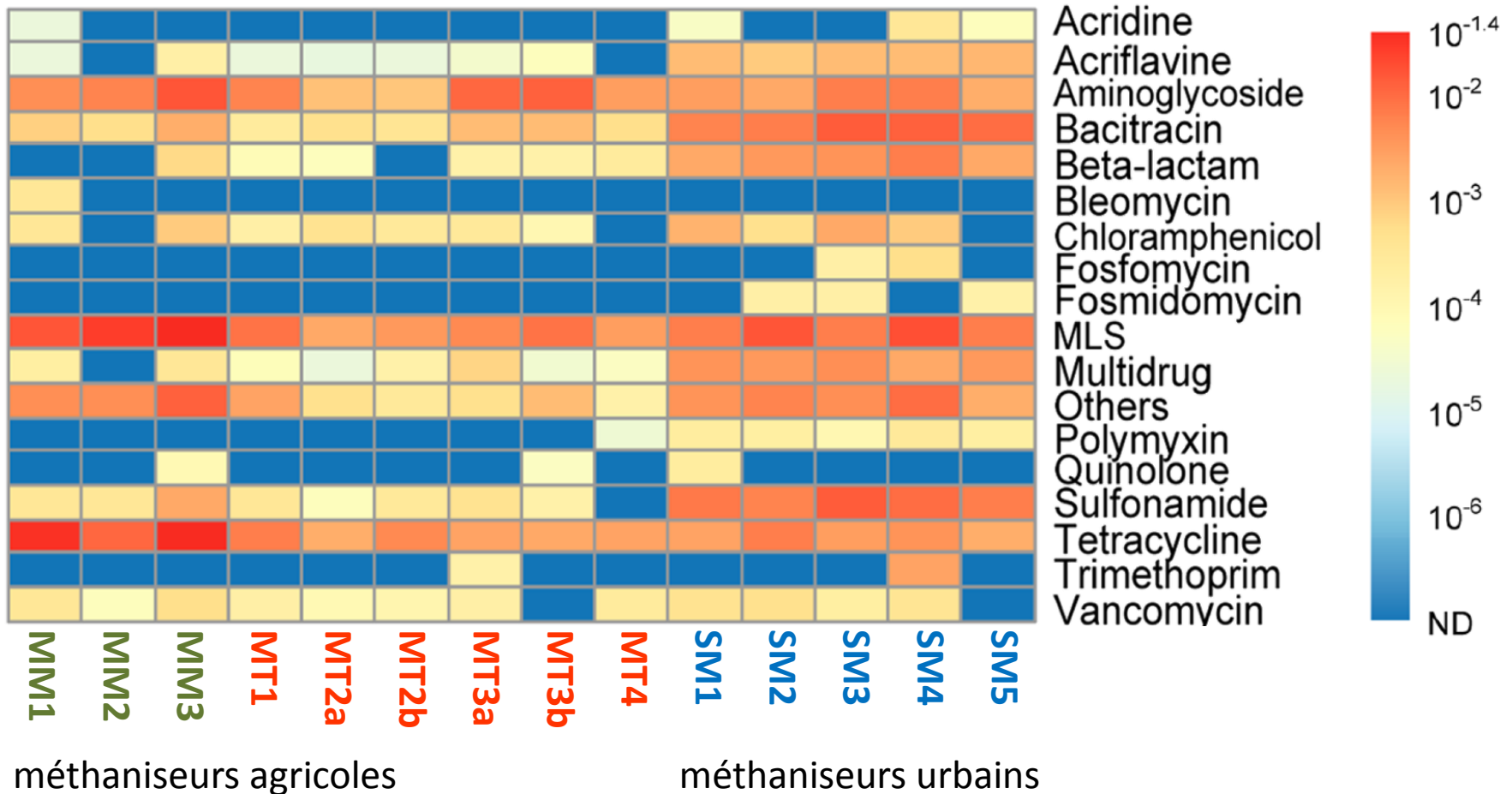
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Répartition des types de GRAs (copie de GRAs / copie du gène ARNr 16S)



Présence de GRAs dans tous les types des méthaneiseurs

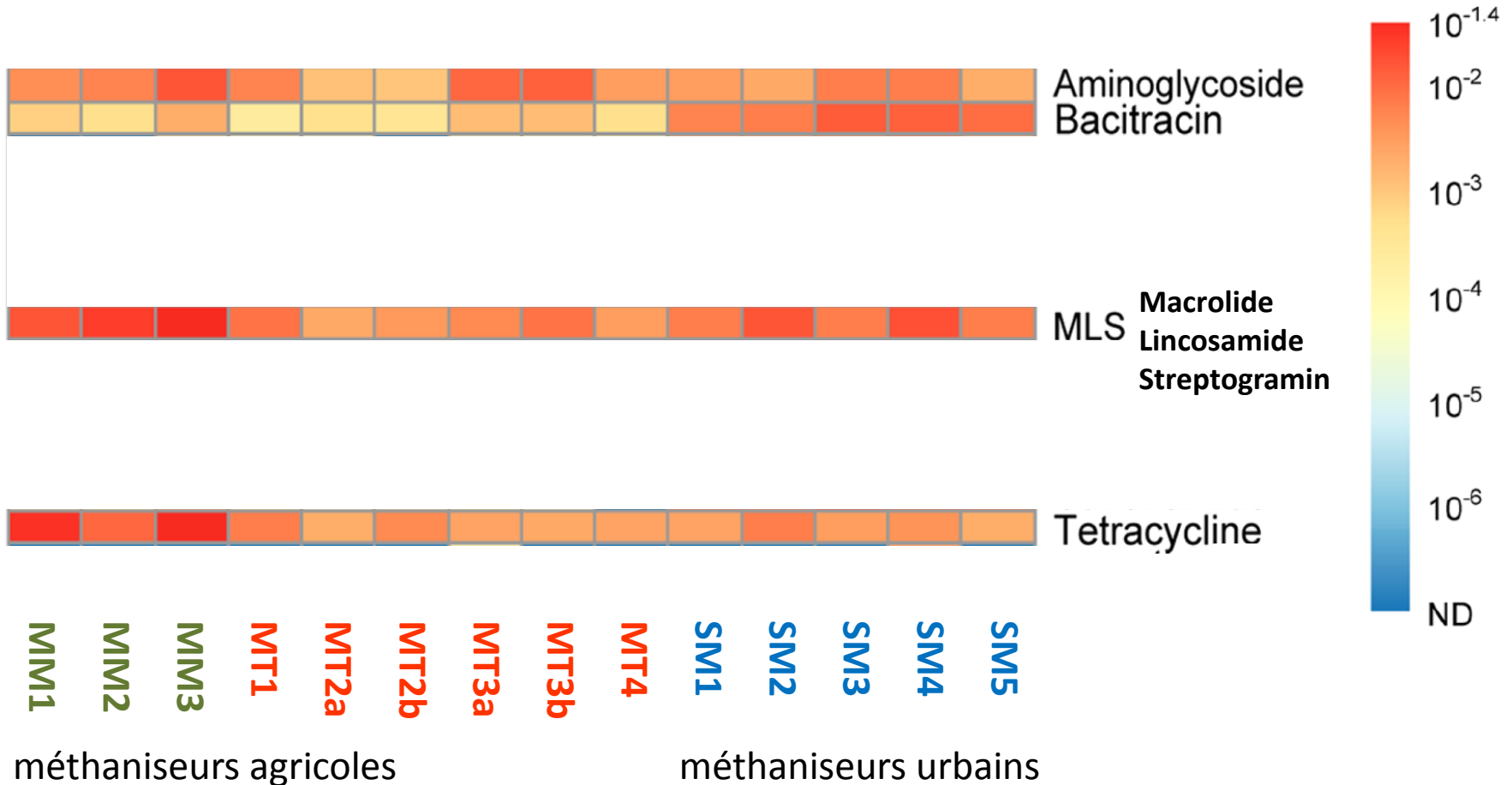
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Répartition des types de GRAs (copie de GRAs / copie du gène ARNr 16S)



certains GRAs sont retrouvés dans tous les sites

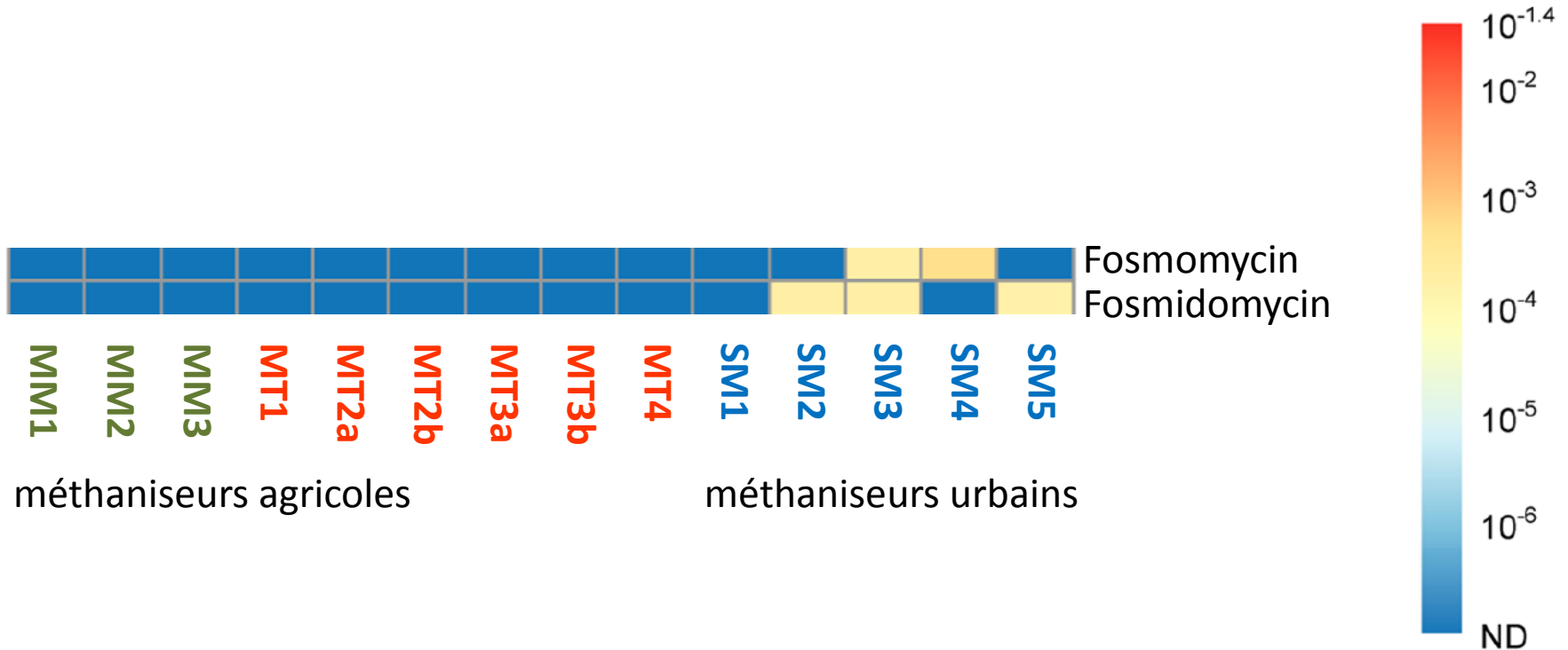
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Répartition des types de GRAs (copie de GRAs / copie du gène ARNr 16S)



**Fosfomycine : atb à large spectre → traitement des infections des voies urinaires**

Utilisée aussi chez les animaux → difficile de relier l'usage d'atbs à la présence de GRAs dans les digestats

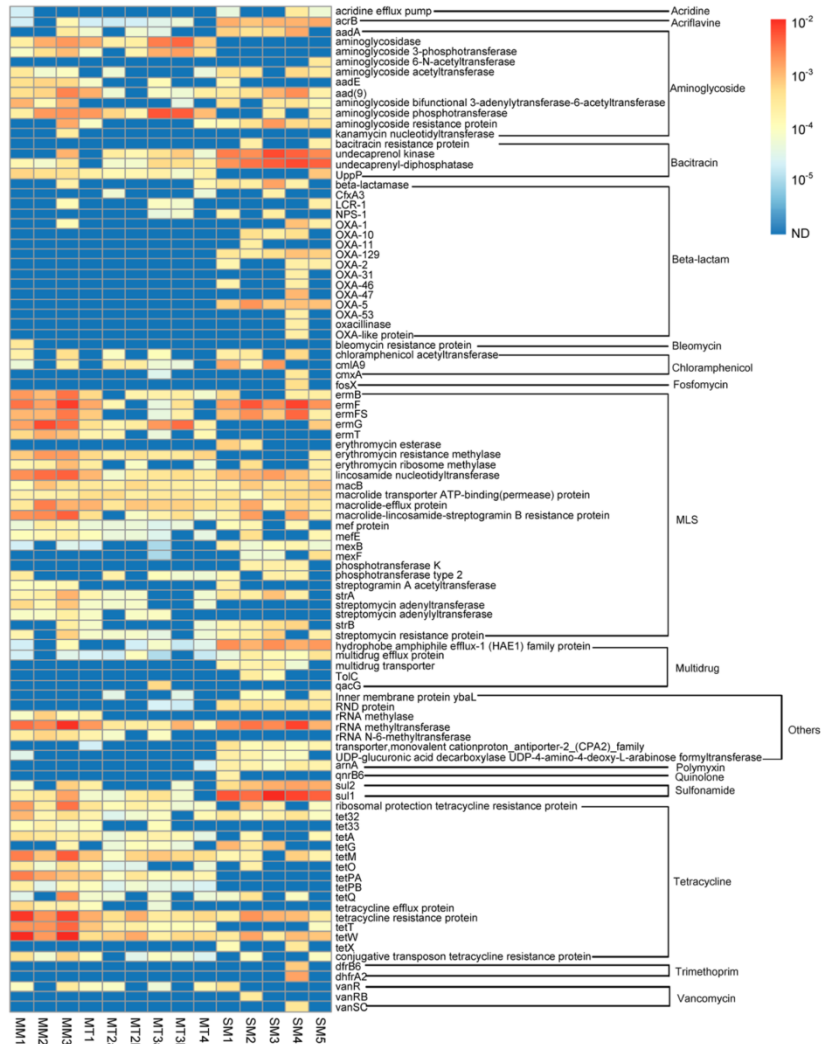
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Abondance des 100 GRAs dominants >  $2 \cdot 10^{-4}$  copies de GRAs / copies du gène d'ARNr 16S dans au moins un échantillon



# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo et al. 2017

Abondance des 100 GRAs dominants >  $2 \cdot 10^{-4}$  copies de GRAs / copies du gène d'ARNr 16S dans au moins un échantillon

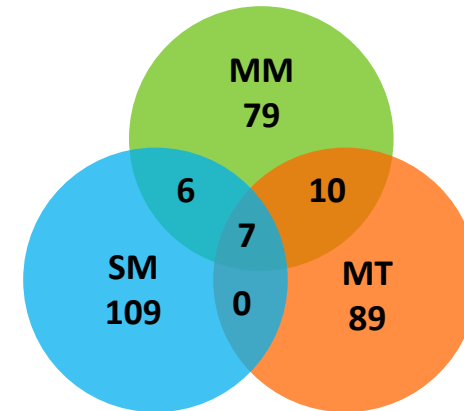
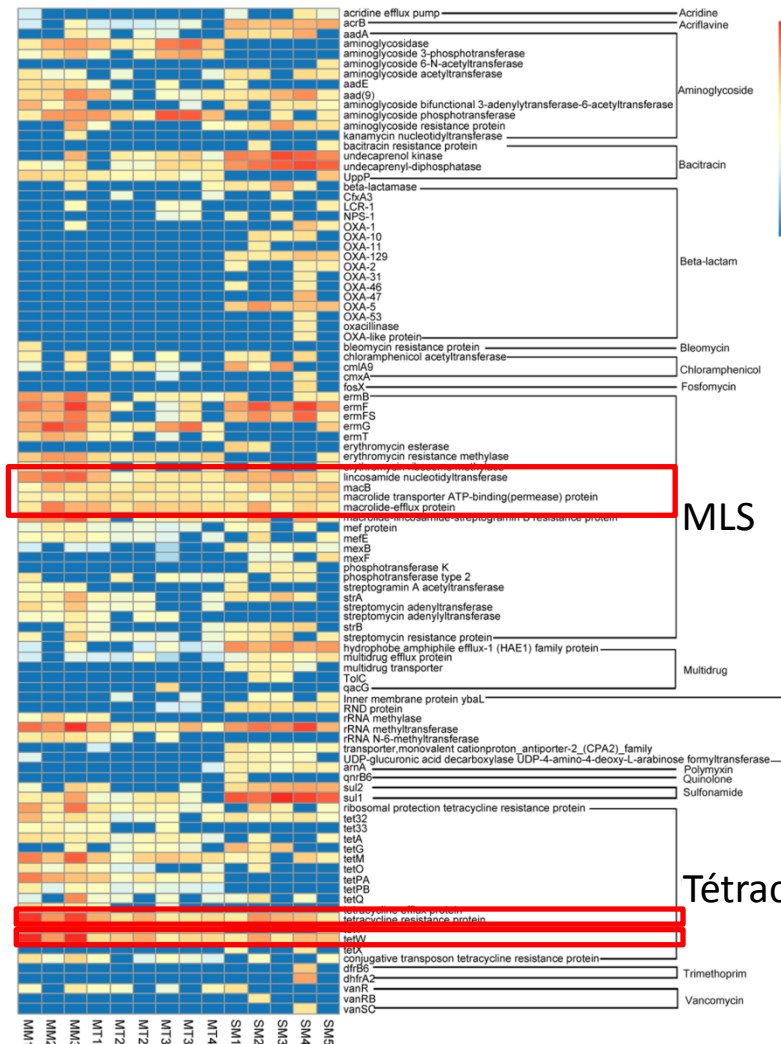


Diagramme de Venn :  
nombre de types de GRAs uniques et communs

7 types communs :  
essentiellement gènes de résistance  
aux MLS et à la tétracycline

# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo et al. 2017

Abondance des 100 GRAs dominants >  $2 \cdot 10^{-4}$  copies de GRAs / copies du gène d'ARNr 16S dans au moins un échantillon

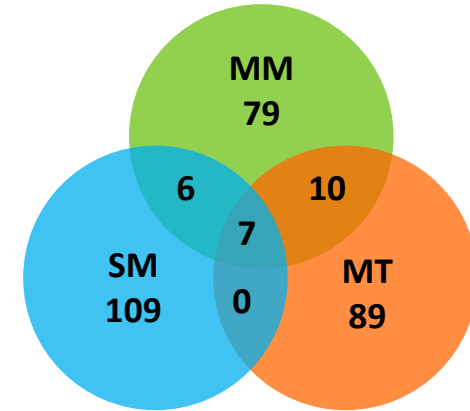
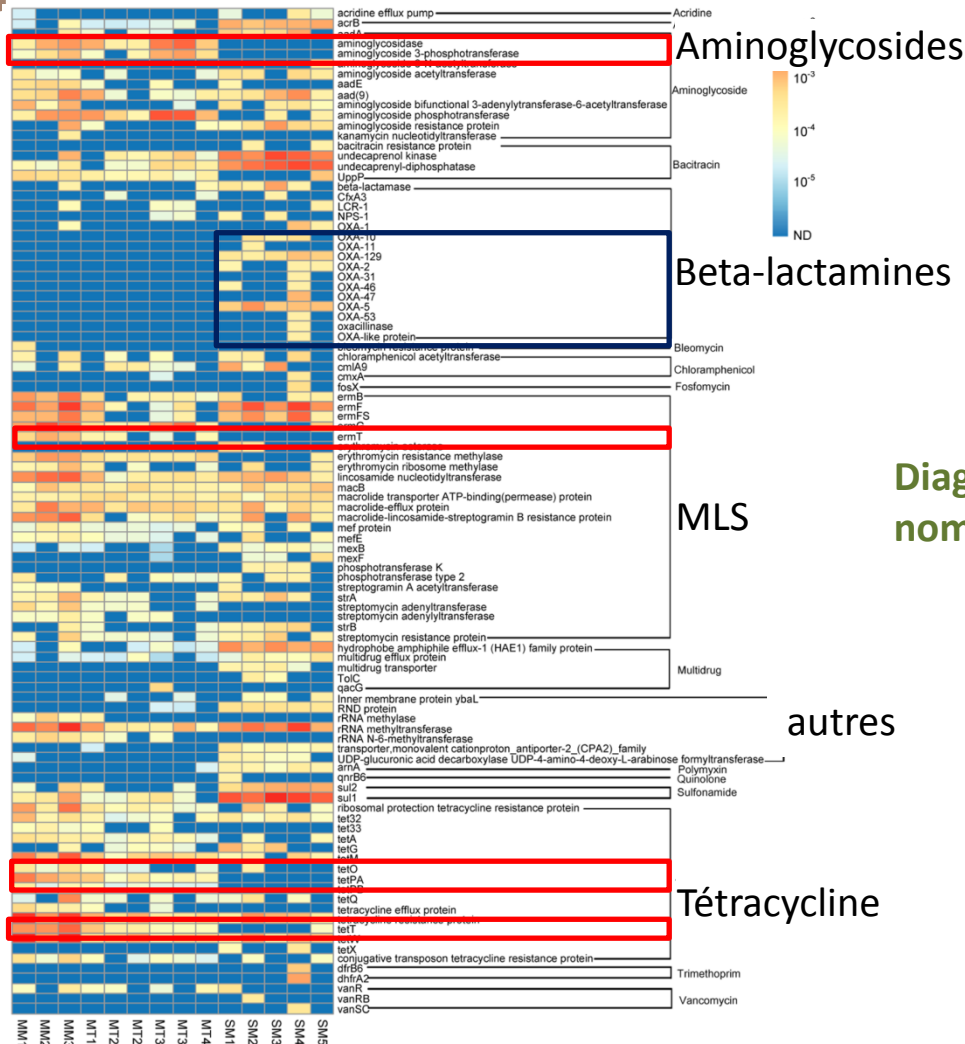


Diagramme de Venn :  
nombre de types de GRAs uniques et communs

types spécifiques dans les digestats  
tétracycline  
aminoglycosides  
gènes ermT

lisiers

béta-lactamines : boues urbaines

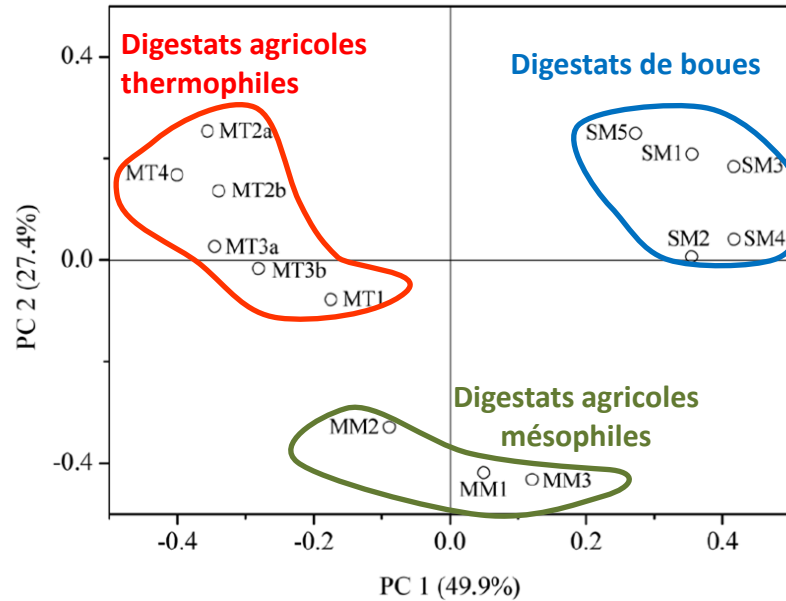
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

ACP basée sur l'identification des GRAs



Différence de composition des GRAs selon les types de méthaniseurs

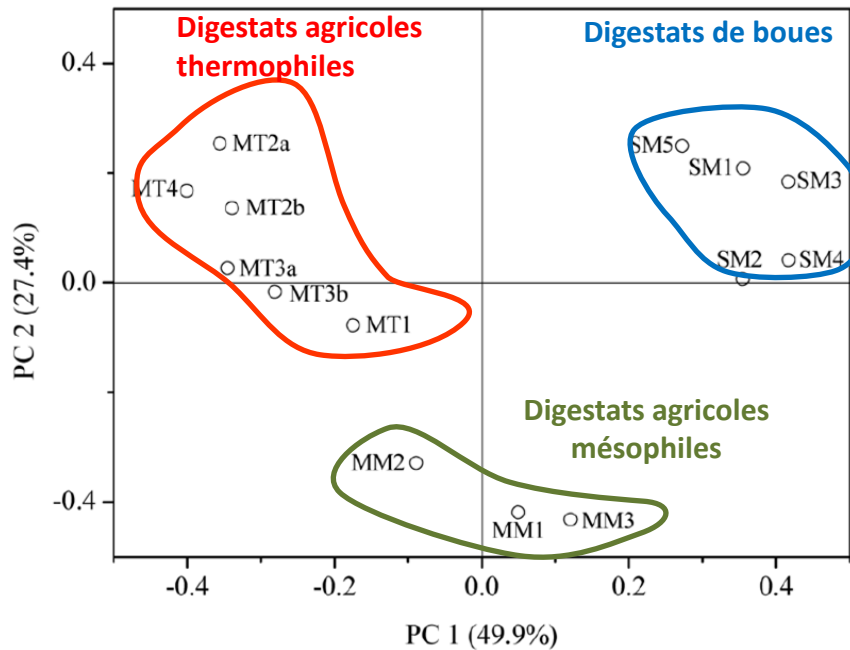
# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées

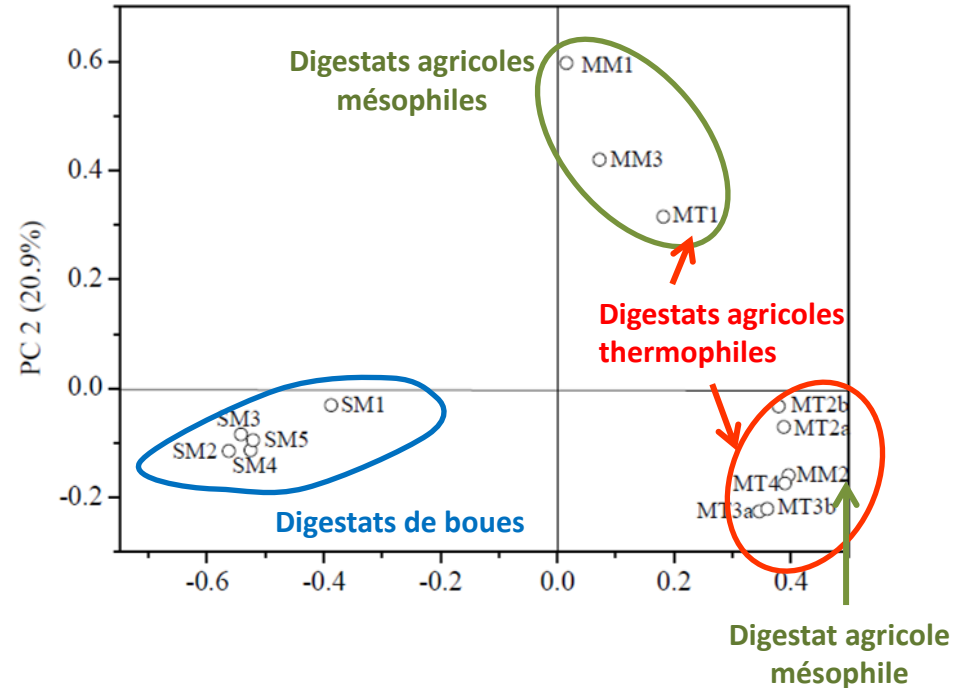


Luo et al. 2017

### ACP ⇒ identification des GRAs



### ACP ⇒ identification des bactéries et des archées



Quels liens entre la présence des GRAs et la population bactérienne ?

# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Analyse de réseau :

mise en évidence des modèles de cooccurrence des types de GRAs avec des taxons bactériens



# Méthanisation mésophile / thermophile

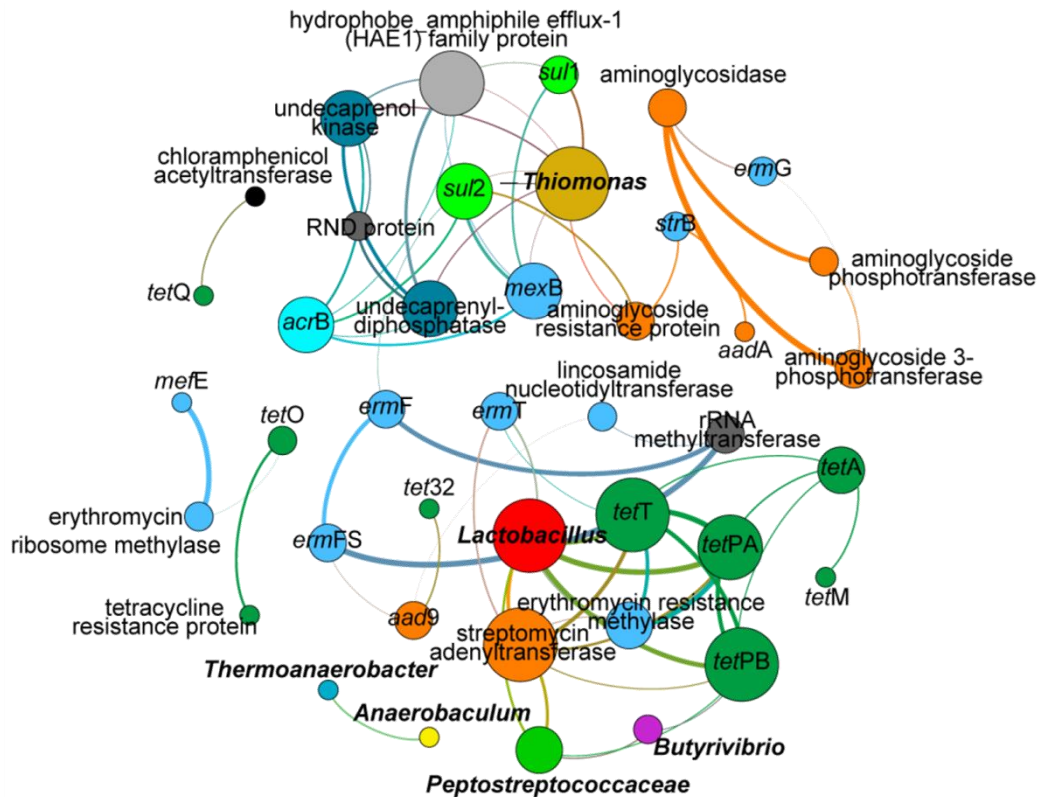
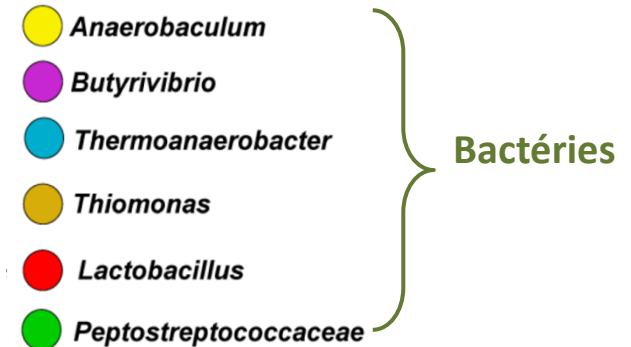
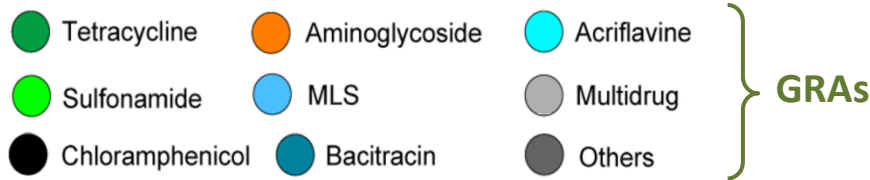
## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Analyse de réseau :

mise en évidence des modèles de cooccurrence des types de GRAs avec des taxons bactériens



3 genres bactériens et une famille bactérienne  
corrèlent significativement avec les GRAS

*Thiomonas*  
*Butyrivibrio*  
*Lactobacillus*  
*Peptostreptococcaceae*

# Méthanisation mésophile / thermophile

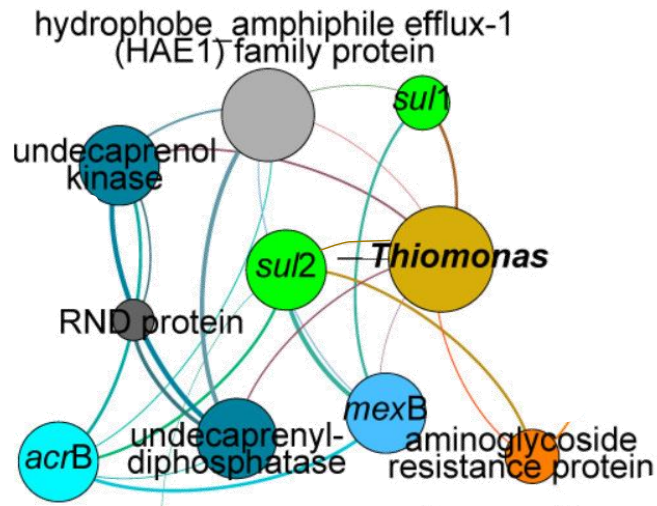
## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Analyse de réseau :

mise en évidence des modèles de cooccurrence des types de GRAs avec des taxons bactériens



### Thiomonas

| GRAs (types)    | GRAs (sous-types)                                  |
|-----------------|----------------------------------------------------|
| sulfonamides    | sul1, sul2                                         |
| Mutidrug        | hydrophobe_amphiphile<br>efflux-1 family protein   |
| MLS             | mexB                                               |
| Bacitracine     | undecaprenol kinase,<br>undecaprenyl-diphosphatase |
| Aminoglycosides | aminoglycoside resistance<br>protein               |

# Méthanisation mésophile / thermophile

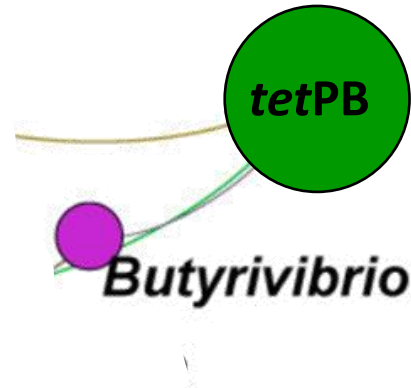
## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Analyse de réseau :

mise en évidence des modèles de cooccurrence des types de GRAs avec des taxons bactériens



### *Butyrivibrio*

| GRAs (types) | GRAs (sous-types) |
|--------------|-------------------|
| Tétracycline | tetPB             |

# Méthanisation mésophile / thermophile

## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



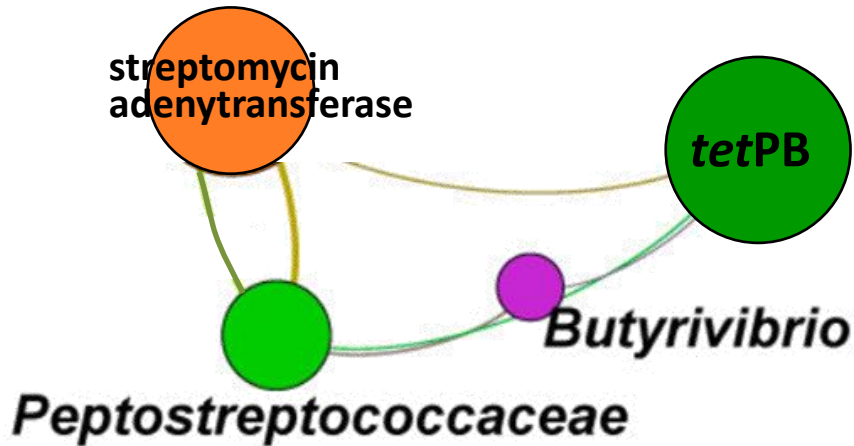
Luo et al. 2017

Analyse de réseau :

mise en évidence des modèles de cooccurrence des types de GRAs avec des taxons bactériens

### *Peptostreptococcaceae*

| GRAs (types)   | GRAs (sous-types)                 |
|----------------|-----------------------------------|
| Aminoglycoside | Streptomycin<br>adenyltransferase |
| Tetracycline   | tetPB                             |



# Méthanisation mésophile / thermophile

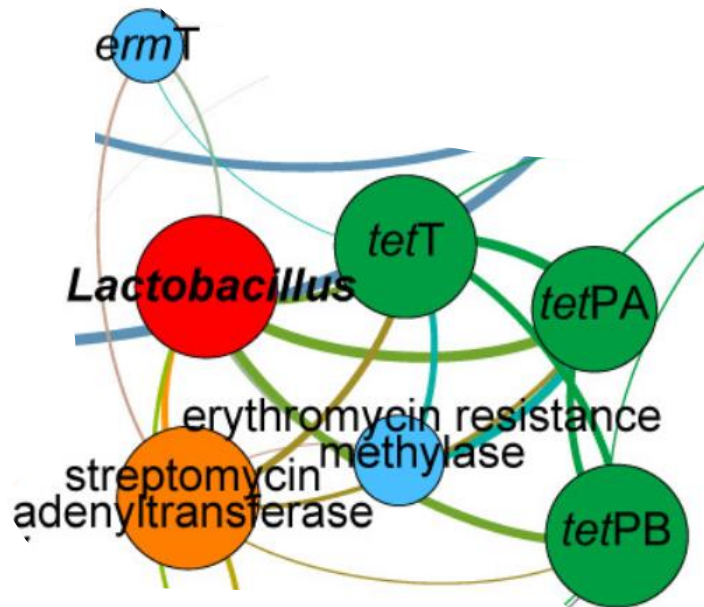
## Digestats agricoles / boues urbaines méthanisées



Luo *et al.* 2017

Analyse de réseau :

mise en évidence des modèles de cooccurrence des types de GRAs avec des taxons bactériens



### *Lactobacillus*

GRAs (types)

GRAs (sous-types)

MLS

ermT, erythromycin  
resistance methylase

Tétracycline

tetPA , tetPB

Aminoglycoside

Streptomycin  
adenyltransferase



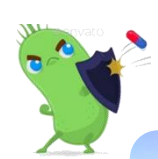
## Impact de la méthanisation sur les GRAs

### Bilan



- Comportement diffère en fonction du gène
- diminution lors de la digestion anaérobie
  - non systématique
  - post digestion et stockage ↗ teneur en GRAs
- Le substrat d'entrée et la température jouent un rôle important dans la composition des GRAs





## Conclusion (1/2)



compostage  
aérobie

max 60-70°C qq jours

procédé batch



un seul apport de BRAs / GRAs



métha. thermophile  
anaérobie

53-56°C

procédé semi continu



apport régulier de BRAs /GRAs



métha. Mésophile

37-40 °C



Facteur prédominant sur la teneur en BRAs / GRAs : température  
Et couple température/durée pour le compostage

formes végétatives des bactéries

compostage > méthanisation thermophile >> méthanisation mésophile

spores bactériennes

peu d'impact quel que soit le traitement

Quel rôle dans la dissémination de l'antibiorésistance ?





## Conclusion (2/2)

- Traitements thermophiles plus efficaces que la méthanisation mésophile ou le stockage à température ambiante
- Allongement de la durée du procédé de traitement : impact moins marqué que celui de la température
- Le type d'effluent (fumier vs lisier), au travers du traitement qui lui est appliqué, peut influencer la persistance des bactéries résistantes aux antibiotiques

**effluents solides  
stockés en tas ou compostés**



**effluents liquides  
stockés en fosse à température ambiante  
ou traités par méthanisation mésophile**



**Il est probable que la persistance des gènes de résistance aux antibiotiques soit plus importante dans les effluents liquides**



***Merci de votre attention***



