JRI biogaz méthanisation

atee Club Biogaz
ASSOCIATION TECHNIQUE ENERGIE ENVIRONNEMENT

GRESE
Groupement de Recherche Eau Sol Environnement

Office International de l'Eau

Impact de la digestion anaérobie sur les bactéries indicatrices de traitement et les micro-organismes pathogènes : revue bibliographique

Anne-Marie Pourcher, Céline Druilhe

irstea

www.irstea.fr

Journées Recherche Industrie biogaz méthanisation
10 février 2016 Limoges

Impact de la digestion anaérobie sur les bactéries indicatrices de traitement et les micro-organismes pathogènes : revue bibliographique

Contexte

micro-organismes pathogènes présents dans les effluents

Facteurs intervenant sur les réductions des micro-organismes

digestion anaérobie mésophile

digestion anaérobie thermophile

Exemples d'études:

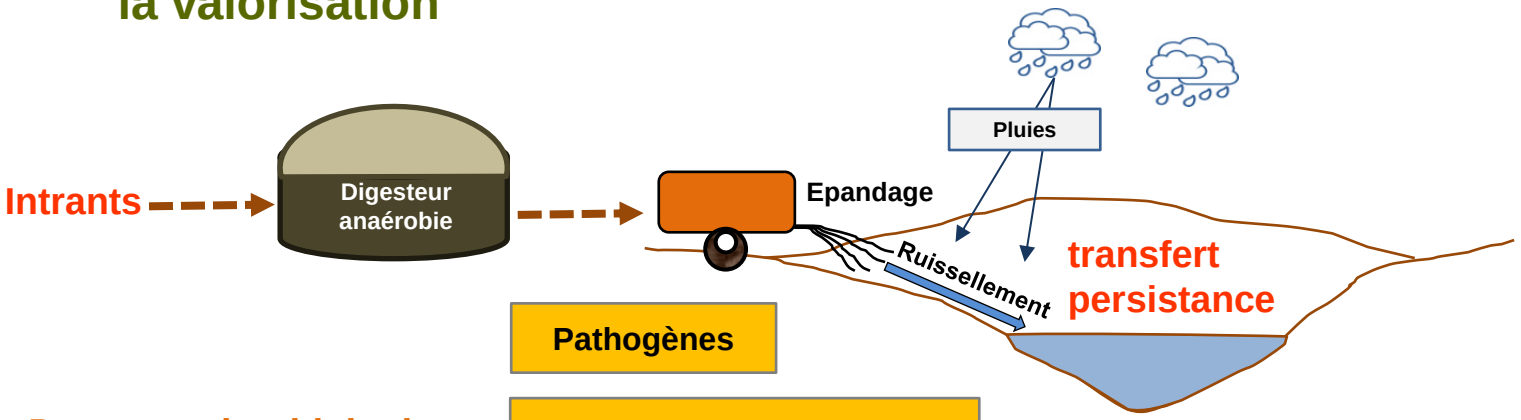
Etudes menées en laboratoire

Etudes menées sur le terrain

Conclusion

Eléments en entrée des méthaniseurs susceptibles d'avoir un impact sur la santé humaine et /ou animale

Risques potentiels sur la santé et l'environnement : un des obstacles à la valorisation



Dangers microbiologiques

- **Pathogènes**
- **Bactéries résistantes aux antibiotiques**

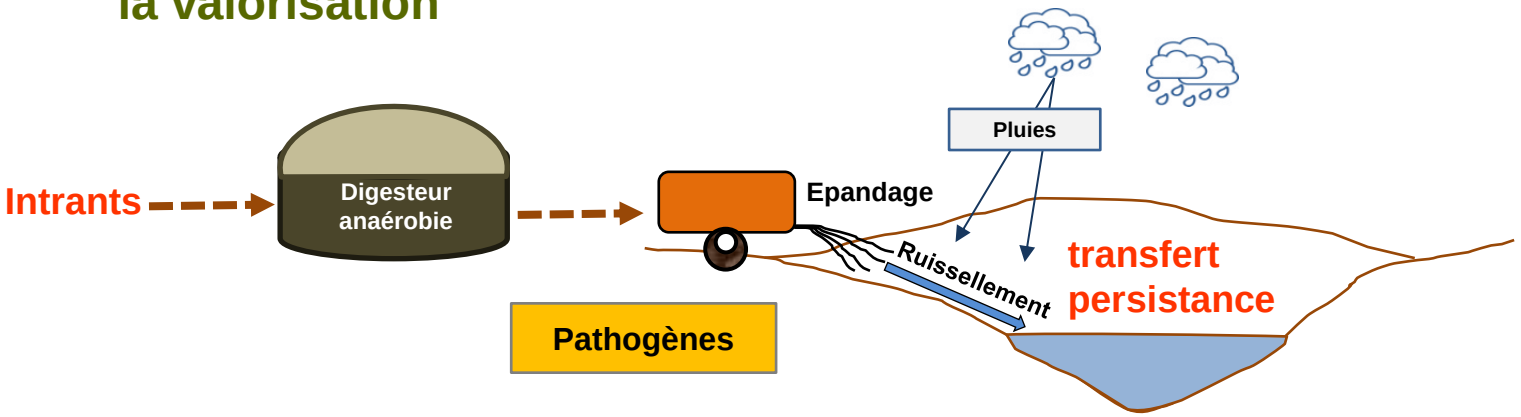
Dangers chimiques

- **Produits pharmaceutiques dont antibiotiques**
- **Autres micropolluants organiques micropolluants minéraux**

peu de données sur l'innocuité des digestats

Eléments en entrée des méthaniseurs susceptibles d'avoir un impact sur la santé humaine et /ou animale

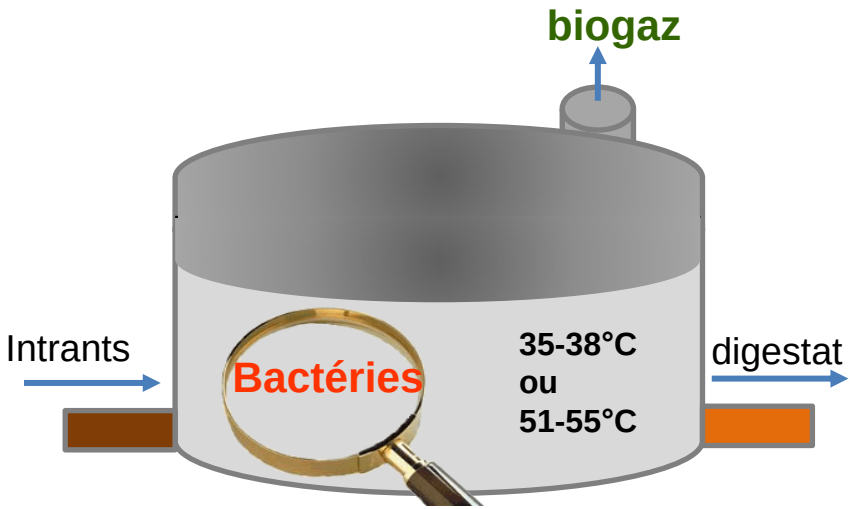
Risques potentiels sur la santé et l'environnement : un des obstacles à la valorisation



Dangers microbiologiques

peu de données sur l'innocuité des digestats

Présence de pathogènes zoonotiques dans les digestats

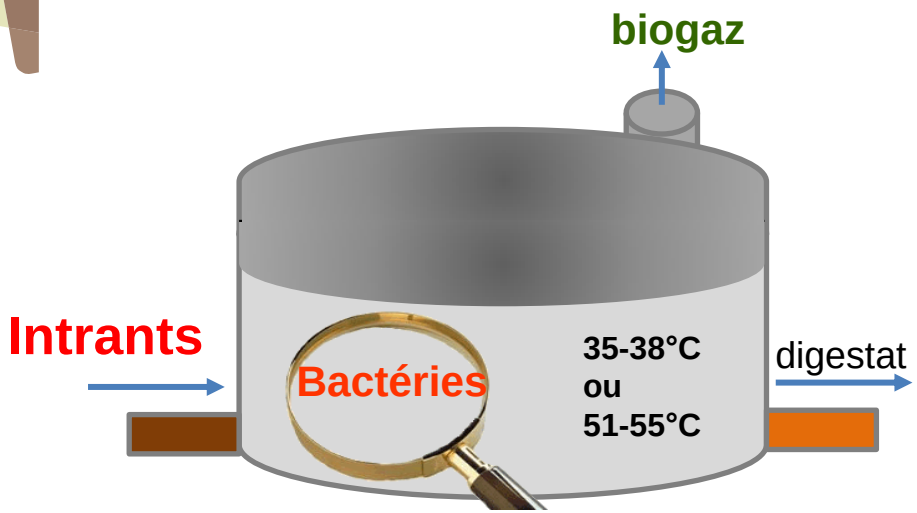


Bactéries nécessaires à la transformation de la matière organique en biogaz

Bactéries anaérobies
- **Hydrolytiques**
- **Acidogènes**
- **Acétogènes**

Archées méthanogènes

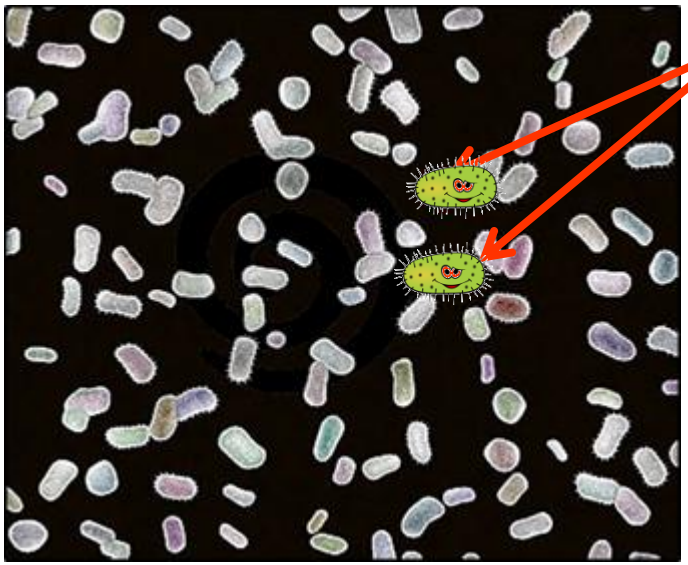
Présence de pathogènes zoonotiques dans les digestats



Bactéries nécessaires à la transformation de la matière organique en biogaz

Bactéries anaérobies
- **Hydrolytiques**
- **Acidogènes**
- **Acétogènes**

Archées méthanogènes



Micro-organismes pathogènes susceptibles d'être retrouvés dans les boues de stations d'épuration

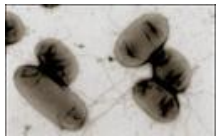
Virus	Bactéries	Protozoaires	Champignons et levures	Helminthes
Entérovirus	*Aeromonas sp.*			
-Poliovirus	*Bacillus cereus*	*Acanthomoeba*	*Aspergillus fumigatus*	*Ankylostoma duodenale*
-Coxsackievirus A et B	*Bacillus anthracis*	*Balantidium coli*	*Candida albicans*	*Ascaris lumbricoides*
-Echovirus	*Campylobacter jejuni*	*Cryptosporidium parvum*	*Candida guillermondii*	*Echinococcus granulosus*
-Enterovirus 68 à 71	*Citrobacter sp*	*Dientamoeba fragilis*	*Candida krusei*	*Echinococcus multilocularis*
Adénovirus	*Clostridium difficile*	*Entamoeba histolytica*	*Epidermophyton sp*	*Enterobium vermicularis*
Astrovirus	*Clostridium perfringens*	*Giardia lamblia*	*Geotrichum candidum*	*Hymenolepsis nana*
Coronavirus	*Escherichia coli* pathogène	*Giardia intestinalis*	*Microsporum sp.*	*Necator americanus*
Mastadenovirus	*Klebsiella sp.*	*Isospora belli*	*Trichosporon cutaneum*	*Strongyloides stercoralis*
Norwalk-like virus	*Leptospira icterohaemorrhagiae*	*Sarcocystis sp.*	*Trichophyton sp.*	*Taenia saginata*
Réovirus	*Listeria monocytogenes*	*Toxoplasma gondii*		*Taenia solium*
Rotavirus	*Pasteurella pseudotuberculosis*			*Toxocara cati*
Virus de l'hépatite A	*Proteus sp.*			*Toxocara canis*
Virus de l'hépatite E	*Providencia sp*			*Trichuris trichura*
	Pseudomonas aeruginosa			
	Salmonella sp.			
	Serratia sp.			
	Shigella sp.			
	Staphylococcus aureus			
	Vibrio parahaemoliticus			
	Vibrio cholerae			
	Yersinia enterocolitica			

Principaux pathogènes des effluents d'élevages et des boues de STEP

Salmonella

Listeria monocytogenes

Yersinia enterocolitica

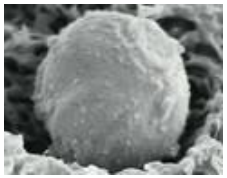


Campylobacter jejuni

E. coli O157 : H7

Clostridium difficile

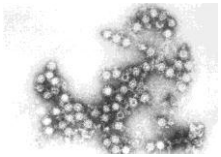
Cryptosporidium



Giardia

helminthes

Entérovirus



hépatite E

Fréquence de détection dans les déjections et effluents d'animaux d'élevage (expertise MAFOR, 2014)

Fréquences de détection minimales et maximales (%)

	Micro-organisme			
bactéries	***Salmonella***	**1,6 – 89**	**0-56**	**3-100**
	Listeria monocytogenes	**18-27**		**26,5**
	Campylobacter jejuni	**12 -85**	**81-97**	**20,6**
	***E. coli* O157 : H7 ou VTEC**	**0-9**	**22-78**	**0-2**
parasites	***Cryptosporidium***	**3-100**	**14-63**	
	Giardia	**7-84**	**93-100**	
virus	**Virus de l'hépatite E**	**3-71**		

Forte variabilité des prévalences

Concentrations en pathogènes dans les effluents d'élevage en Angleterre.

D'après Hutchison *et al.* (2004). **Etude réalisée sur 1516 échantillons**

	Type de lisier/ fumier	Concentration (UFC/g)					
		Bovins		Porcs		Volailles	
		Moyenne[a]	Max	Moyenne	Max	Moyenne	Max
Salmonella	Frais	$2,1\ 10^3$	$5,8\ 10^5$	600	$7,8\ 10^4$	220	$2,2\ 10^4$
	Stocké	$2,5\ 10^3$	$7,2\ 10^6$	610	$2\ 10^3$	$4\ 10^3$	$8\ 10^3$
***E. coli* entéropathogène**	Frais	$1,2\ 10^3$	$2,6\ 10^8$	$3,9\ 10^3$	$7,5\ 10^5$		
	Stocké	260	$7,5\ 10^4$	$1,3\ 10^3$	$1,8\ 10^4$		
Cryptosporidium parvum	Frais	19	$3,5\ 10^3$	58	$3,6\ 10^3$		
	Stocké	11	480	33	310		
Giardia intestinalis	Frais	10	$5\ 10^3$	68	$1,6\ 10^5$		
	Stocké	3	36	12	12		

[a] moyenne géométrique

- **Variabilité des concentrations**
- **Présence des pathogènes même après stockage**

Teneurs en micro-organismes pathogènes dans les eaux usées et les boues de stations d'épuration (d'après Sidhu et Toze, 2009)

pathogènes	Concentrations min et max	Unités
Virus entériques	0,004 – 2 10^4	/ g poids brut
Salmonella	1 – 6 10^2	/ g poids sec
L. monocytogenes	4 – 6 10^3	/ g poids sec
Giardia	10 – 2 10^2	/L
	0,1 – 9	/ g poids brut

➢ **Variabilité des concentrations**

Difficile d'estimer le niveau de contamination des effluents

Présence de pathogènes zoonotiques dans les digestats

En lien avec les intrants

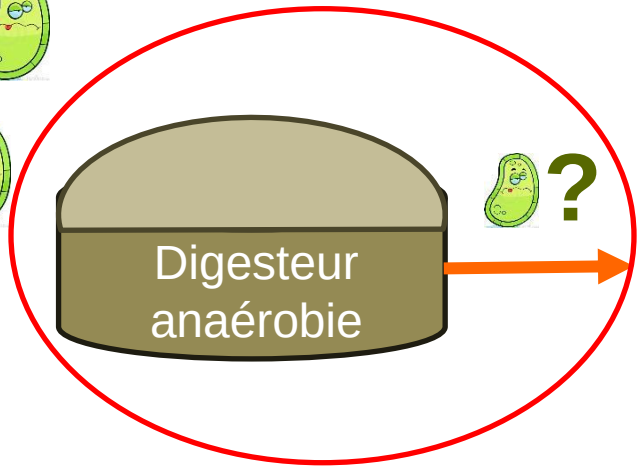
effluents d'élevage
lisier bovin- porcin

fumier bovin/ volailles

boues de STEP
I^aires et II^aires

bac de dégraissage
de restaurants
graisse de flottation

intercultures,
déchets de légumes, fruits
déchets verts des collectivités
(tontes, feuilles…)



Réduction de micro-organismes au cours de la digestion anaérobie

Peu d'informations sur l'inactivation des pathogènes entériques au cours de la digestion anaérobie

Etudes ⇨ digestion anaérobie mésophile

Concernent majoritairement les indicateurs de traitements : coliformes fécaux, *E. coli*.

Deux types d'études

En laboratoire

Études en conditions contrôlées avec inoculation de micro-organismes

Sur le terrain :

Quantification des indicateurs de traitement
Détection des pathogènes

Principaux paramètres influençant la survie des pathogènes au cours de la digestion anaérobie

(Chen *et al.*, 2012 ; Gao *et al.*, 2013 ; Kunte *et al.*, 2000 ; O'Reilly *et al.*, 2009 ; Salsali *et al.*, 2006 ; Smith *et al.*, 2005 ; White *et al.*, 2000 ; White et Stuckey, 2000, Xu et al, 2016)

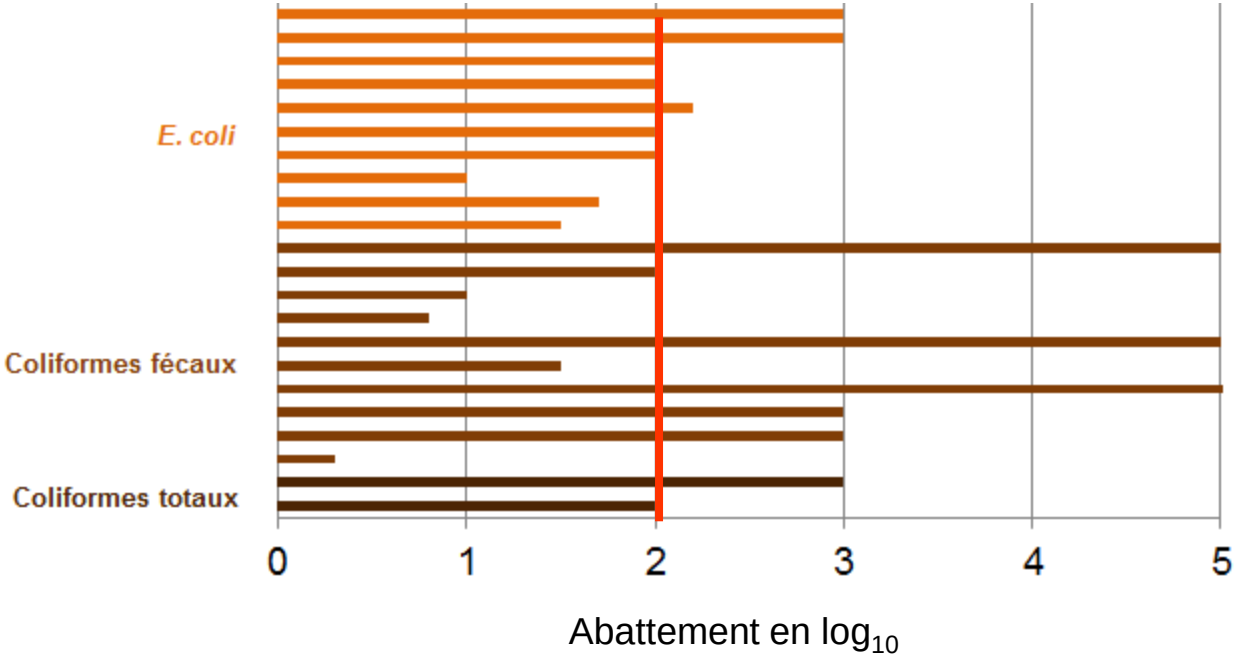
- température
- temps passé dans le réacteur (temps de séjour hydraulique et temps de séjour de la biomasse)

- composition de l'effluent d'entrée
- pH
- Acides GRAs volatiles (AGV)

- **interactions microbiennes**
  compétition
  antagonismes bactériens

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion mésophile (35-38°C)

Indicateurs de traitement



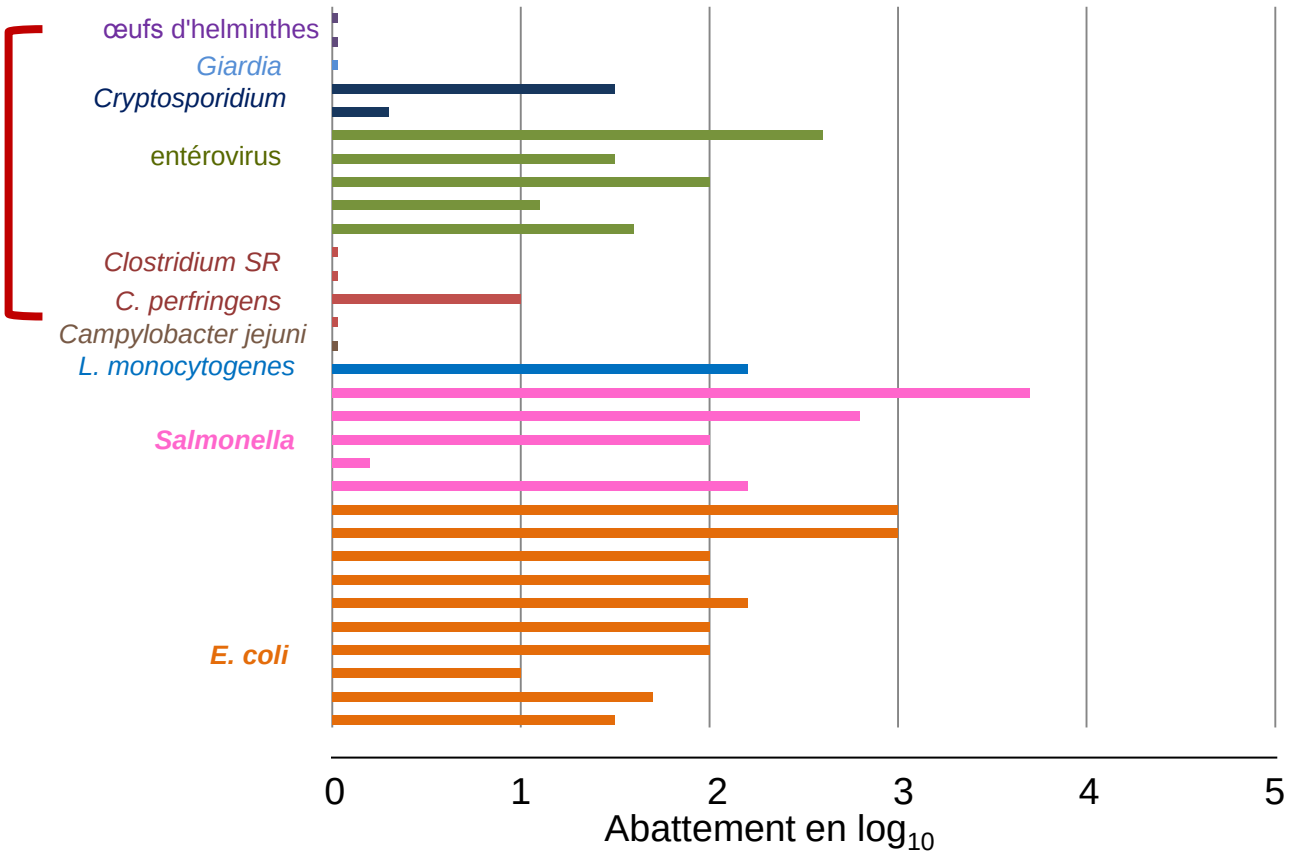
➢ **Réduction des indicateurs de traitement**

Forte variabilité selon les études

Abattement ≈ 2 log_{10}

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion mésophile (35-38°C)

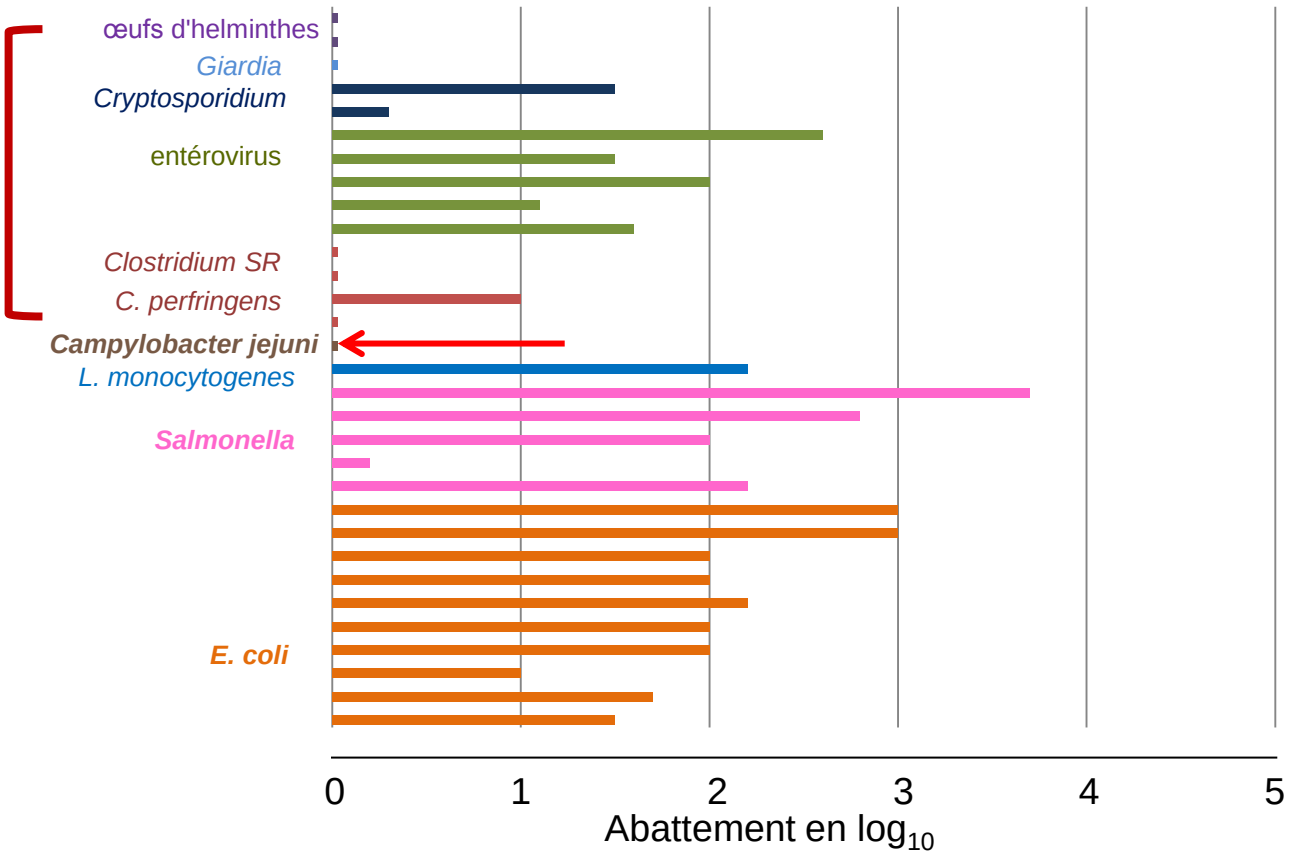
Pathogènes



- parasites, virus bactéries sporulées : plus résistantes
- Abattement de *L. monocytogenes* et *Salmonella* comparable à ceux de *E. coli*

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion mésophile (35-38°C)

Pathogènes

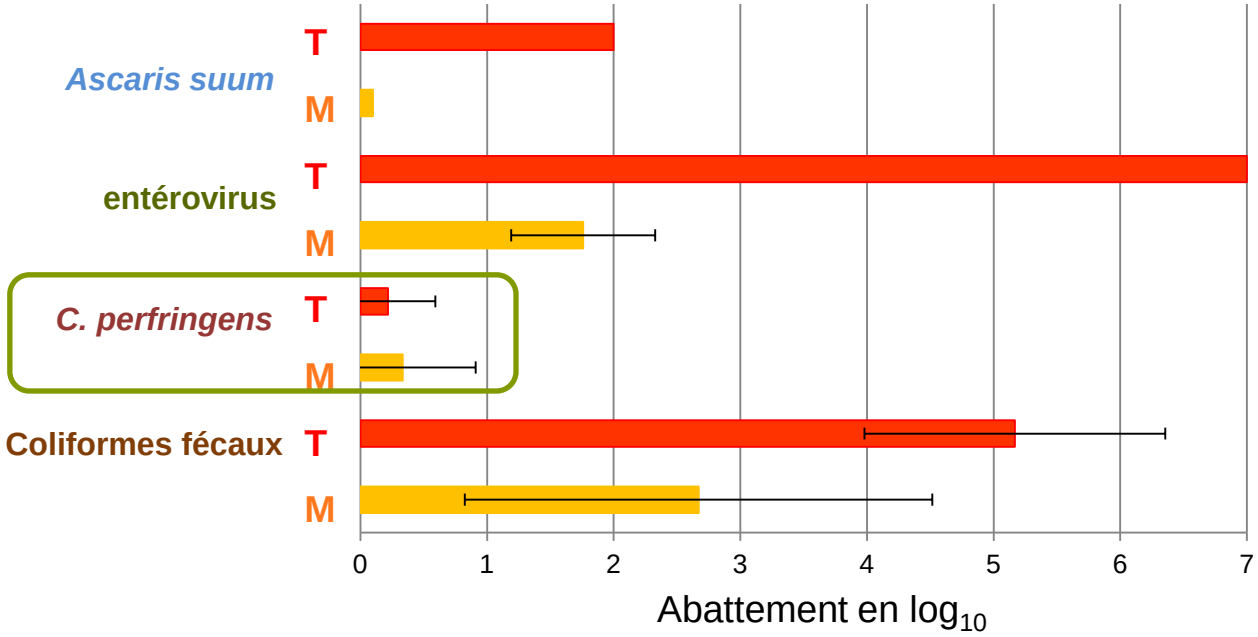


- Mais *Campylobacter* : non impacté

Peu d'études sur les pathogènes ⇨ difficile d'extrapoler

Comparaison de la réduction de micro-organismes

- **digestion thermophile (T, 51-55°C)**
- **digestion anaérobie mésophile (M, 35-38°C)**



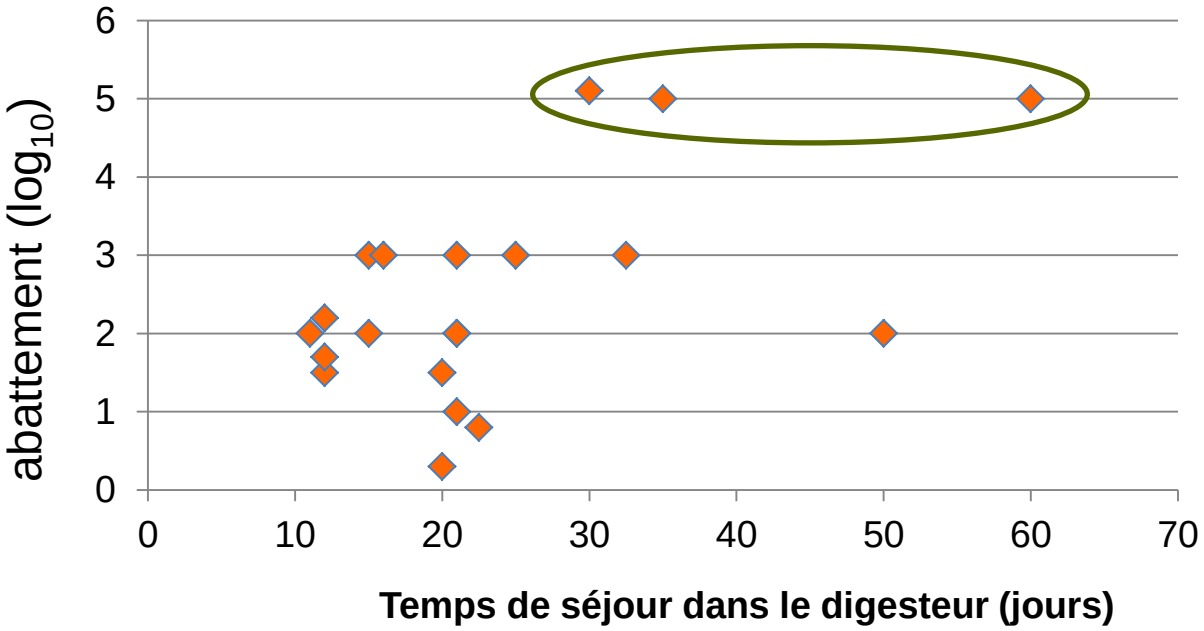
➢ **Digestion anaérobie mésophile moins efficace que digestion anaérobie thermophile**

Résistance des formes sporulées quelle que soit la température

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion mésophile (35-38°C)

Influence du temps de contact ou de rétention sur la réduction des indicateurs de traitement

- Coliformes totaux
- Coliformes fécaux
- *E. coli*



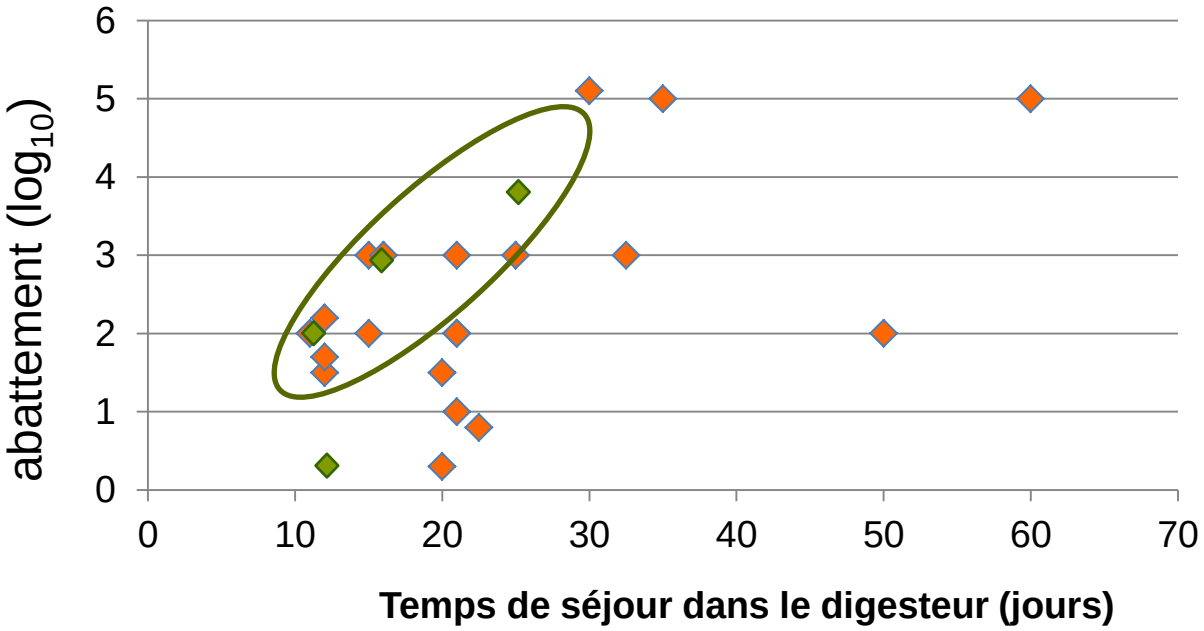
➢ **Sur la gamme étudiée de 12 à 60 jours:**
Pas d'effet significatif

➢ **Mais les réductions les plus fortes sont observées pour les temps de séjour les plus élevés**

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion mésophile (35-38°C)

Influence du temps de contact ou de rétention sur la réduction des indicateurs de traitement

- Coliformes totaux
- Coliformes fécaux
- *E. coli* et sur *Salmonella*

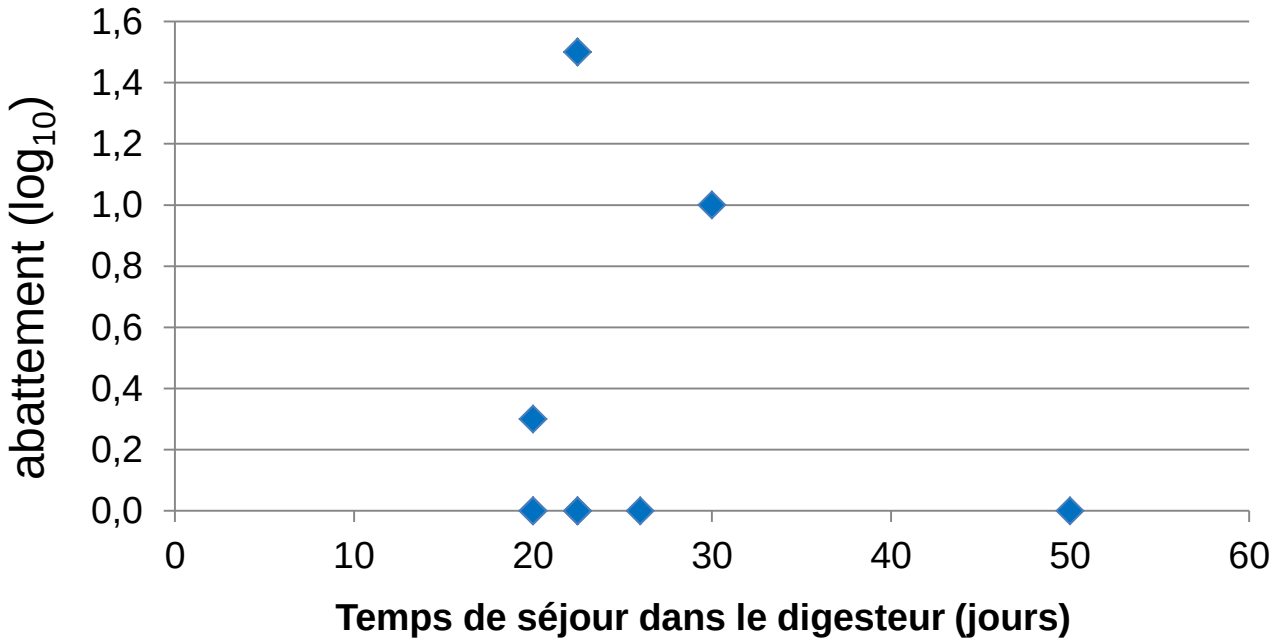


➢ **Les réductions les plus fortes sont observées pour les temps de séjour les plus élevés**

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion mésophile (35-38°C)

Influence du temps de contact ou de rétention sur la réduction les micro-organismes avec des formes de résistance

- *Clostridium*
- parasites

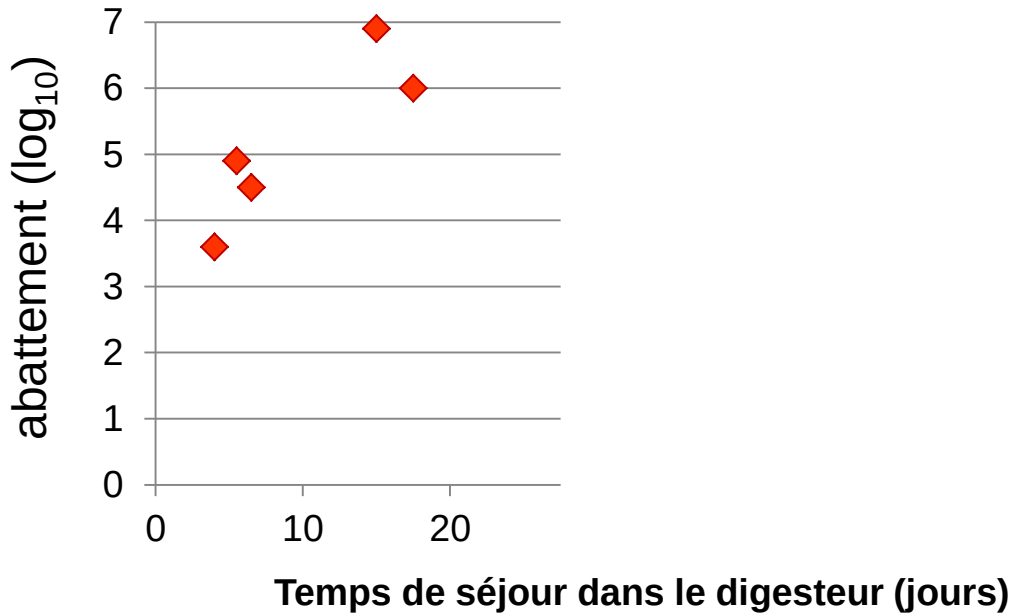


➢ **Aucun effet du temps de séjour**

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion thermophile (51-55°C)

Influence du temps de contact ou de rétention sur la réduction des indicateurs de traitement

- Coliformes fécaux

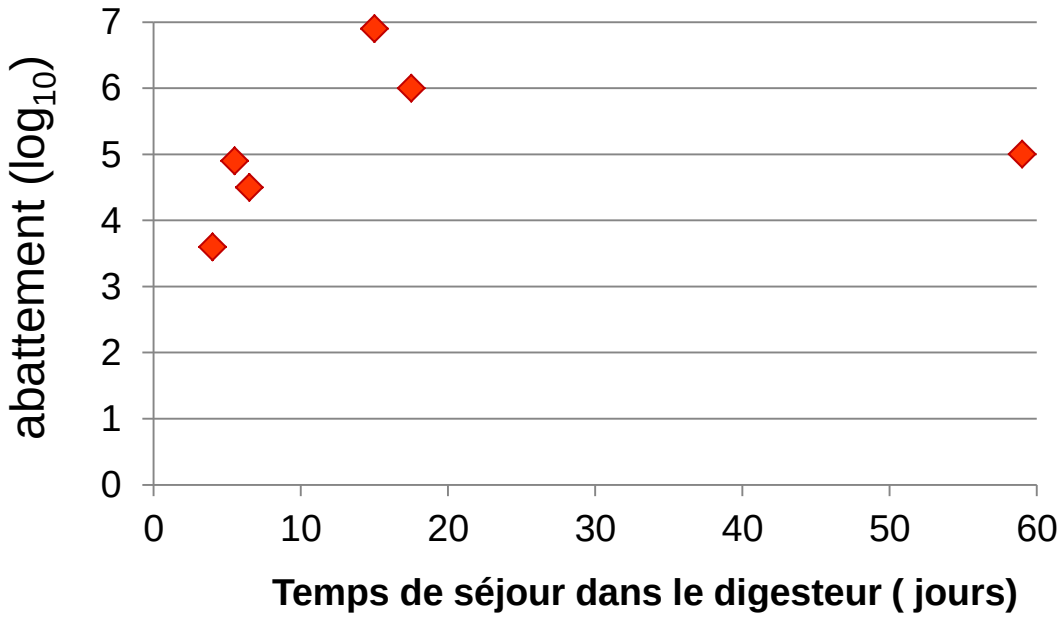


➢ **Sur la gamme étudiée de 4 à 20 jours: effet significatif**

Réduction de micro-organismes dans les boues de STEP traitées par digestion thermophile (51-55°C)

Influence du temps de contact ou de rétention sur la réduction des indicateurs de traitement

- Coliformes fécaux



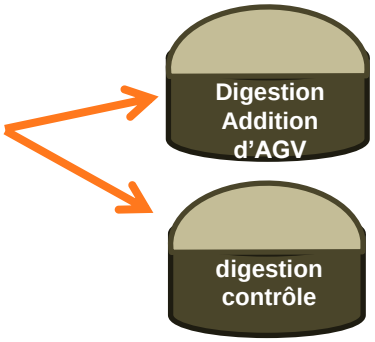
➢ **Sur la gamme étudiée de 4 à 20 jours: effet significatif**

➢ **Mais peu de données et pas d'impact marqué du temps de séjour de 60 jrs**

Impact des AGV sur la survie d'entérobactéries pathogènes

Kunte *et al.*, 2000 : expérience menée en laboratoire

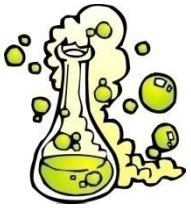
Matières de vidanges
+
Shigella dysenteriae



Pilotes de 9,5L
Digestion anaérobie mésophile
Dénombrement par culture

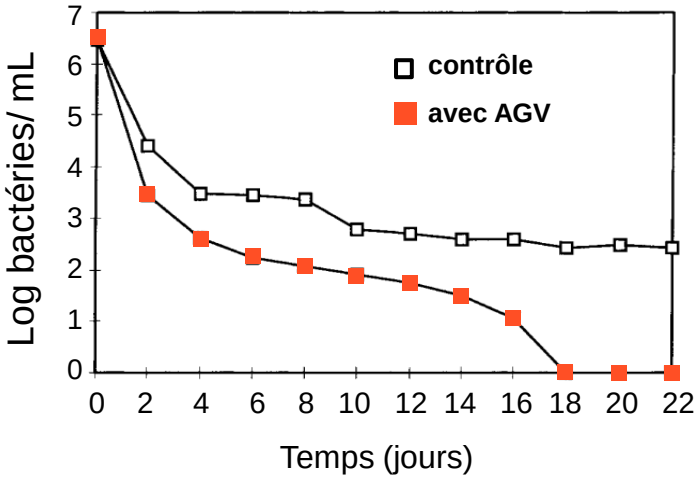
paramètres	Digesteur acidophile	Digesteur contrôle
TRH (jours)	10	20
pH	6,5	7,4
AGV (g/L)	9	0,7

Kunte *et al.* (2000) World Journal of Microbiology & Biotechnology 16: 519–522



Impact des AGV sur la survie d'entérobactéries pathogènes

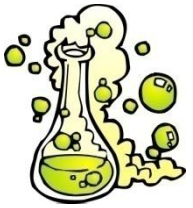
Kunte *et al*., 2000



paramètres	Digesteur acidophile	contrôle
pH	6,5	7,4
AGV (g/L)	9	0,7

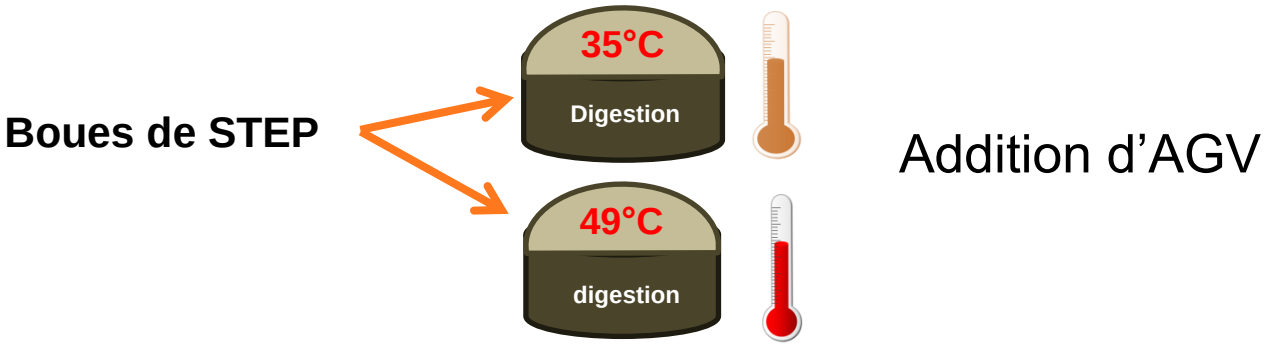
➢ **Inactivation plus rapide du pathogène dans le digesteur acidophile**

⇨ **Effet inhibiteur des AGV**



Impact des AGV sur la survie de *Salmonella*

Salsali *et al*., 2006 expérience menée en laboratoire



Pilotes de 20L

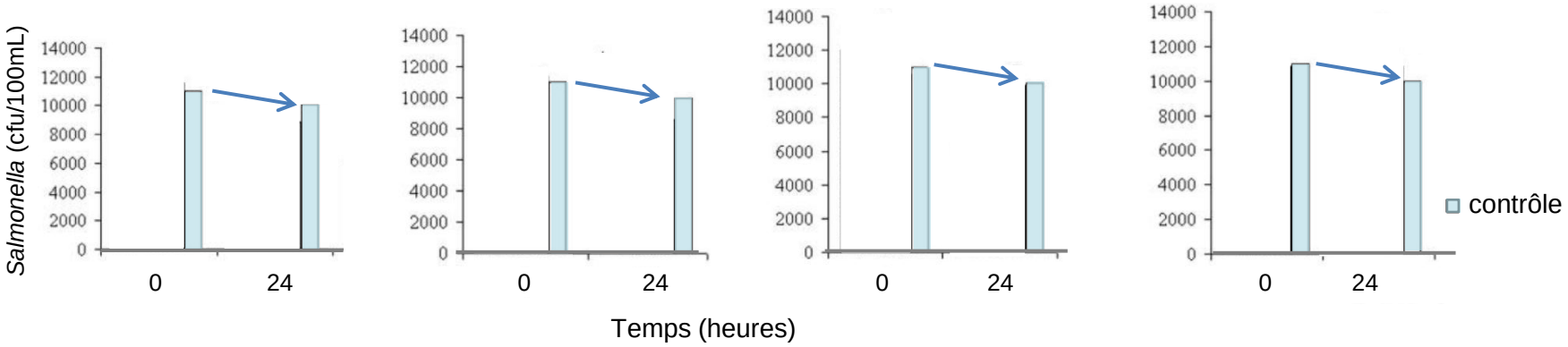
Dénombrement de *Salmonella*, naturellement présente par culture

Salsali *et al.* (2006) Can. J. Microbiol. 52: 279–286

Impact des AGV sur la survie de *Salmonella*

Salsali *et al*., 2006

35 °C

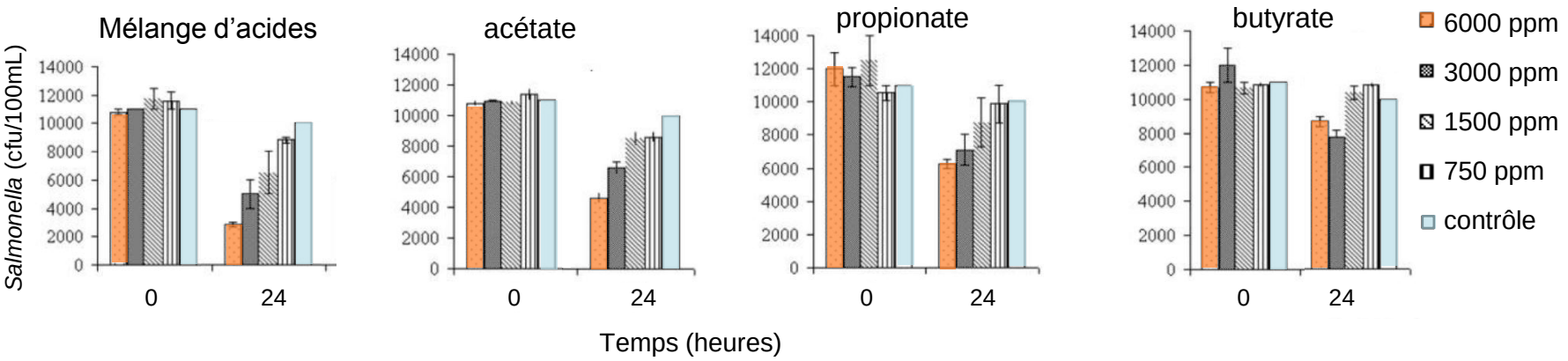


Faible diminution des concentrations en 24h

Impact des AGV sur la survie de *Salmonella*

Salsali *et al*., 2006

35 °C



➢ **Impact de la présence d'AGV sur la survie de *Salmonella***

Impact dépend de :

la teneur en AGV

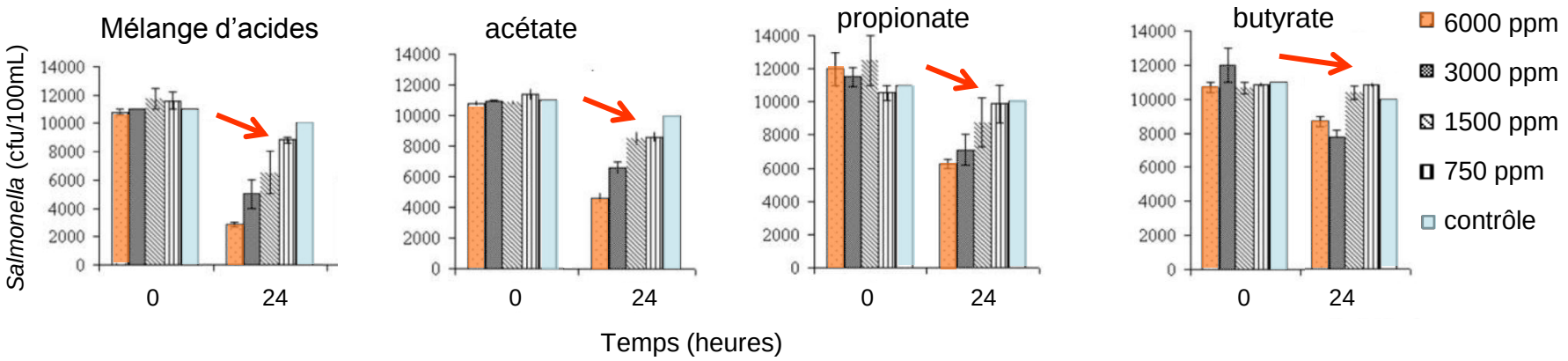
la composition en AGV

➢ **au maximum : 0,7 Log d'abattement**

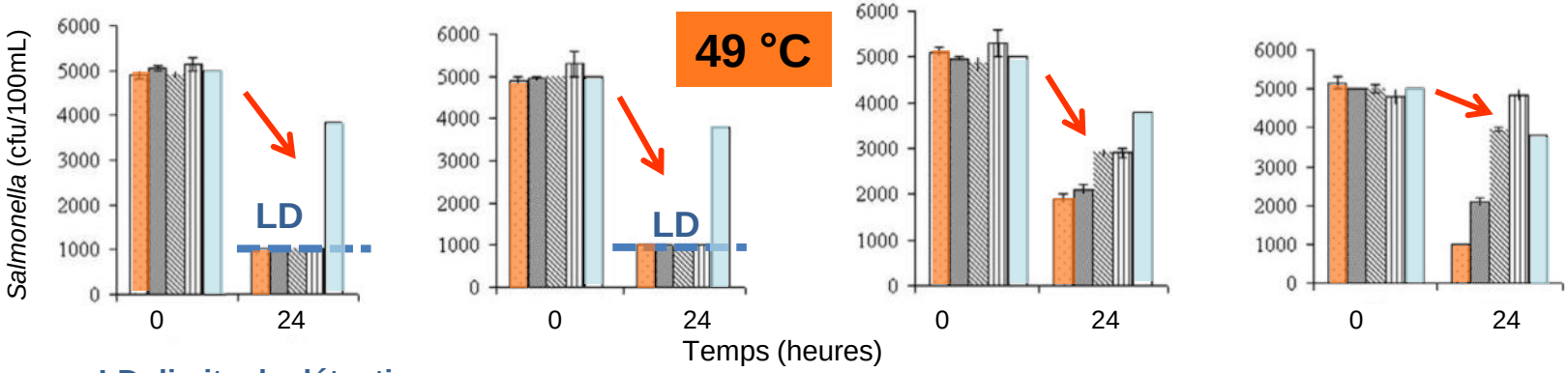
Impact des AGV sur la survie de *Salmonella*

Salsali *et al.*, 2006

35 °C

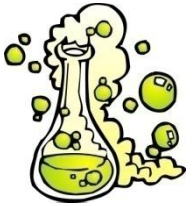


49 °C



LD: limite de détection

- **Réduction plus importante en thermophilie**
- **Abattement > 0,7 Log**



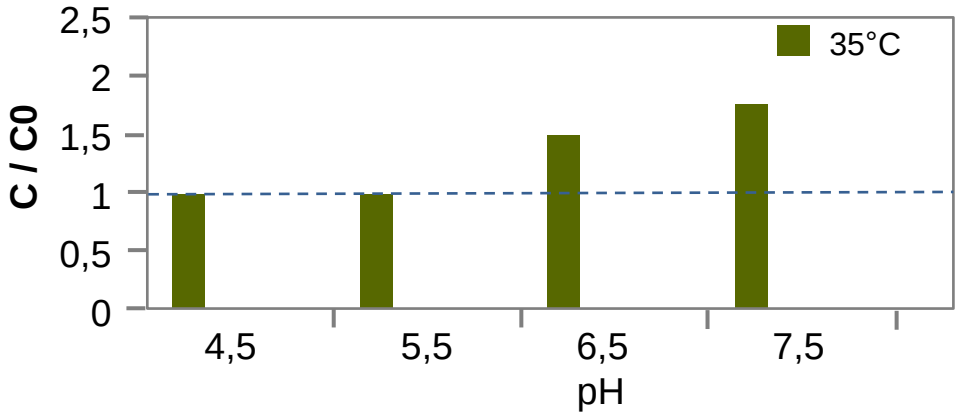
Impact des AGV sur la survie de *C. perfringens*

Salsali *et al*., 2008

Mélange d'acide acétique, propionique et butyrique (750 mg/L)

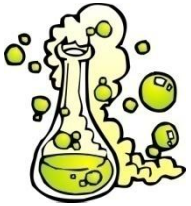
Dénombrement par culture des spores et des formes végétatives

Ratio de la concentration en C*. perfringens* entre T0 et T24h en fonction de la température et du pH



➢ **En condition mésophile : effet négatif du pH acide sur la persistance de *C. perfringens***

Salsali *et al*. (2008) World J Microbiol Biotechnol 24:659–665



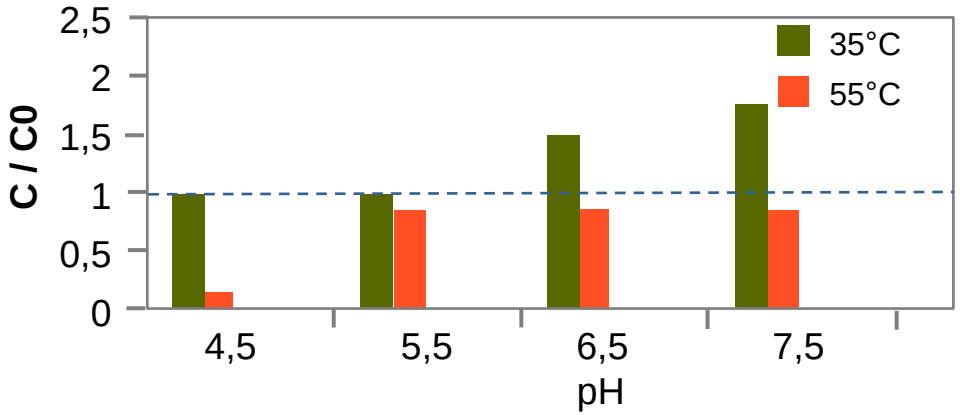
Impact des AGV sur la survie de *C. perfringens*

Salsali *et al*., 2008

Mélange d'acide acétique, propionique et butyrique (750 mg/L)

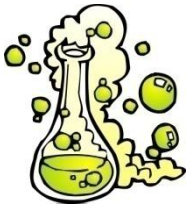
Dénombrement par culture des spores et des formes végétatives

Ratio de la concentration en C*. perfringens* entre T0 et T24h en fonction de la température et du pH



➢ **En condition mésophile : effet négatif du pH acide sur la persistance de *C. perfringens***

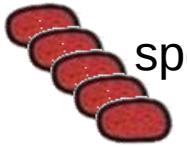
➢ **Même type d'effet à 55°C**



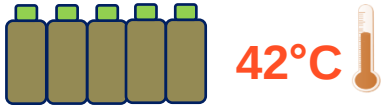
Impact de la température et du pH sur la persistance de souches de *Clostridium difficile*

Xu *et al*., 2016

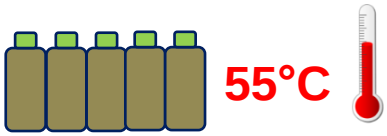
5 souches de *Clostridium difficile* de ribotype 078 inoculées séparément **sous forme de spores** à une concentration de 5 Log ufc /mL



spores



42°C

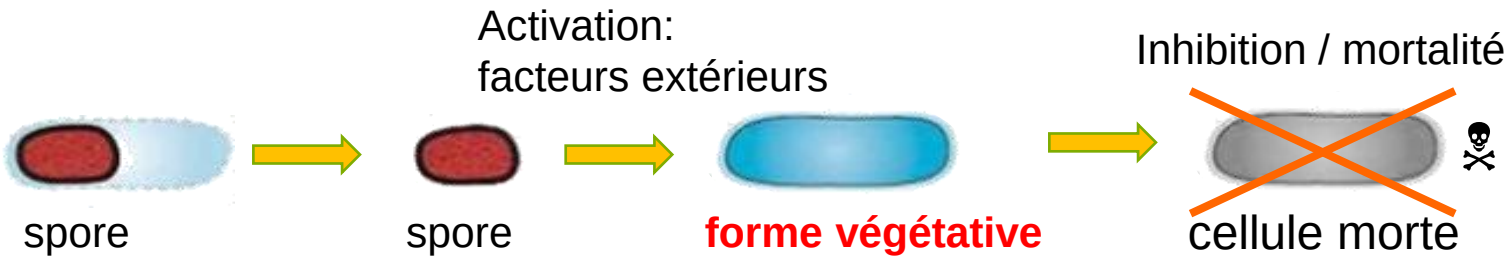


55°C

Boues de STEP en anaérobiose

Incubation

Dénombrement par culture

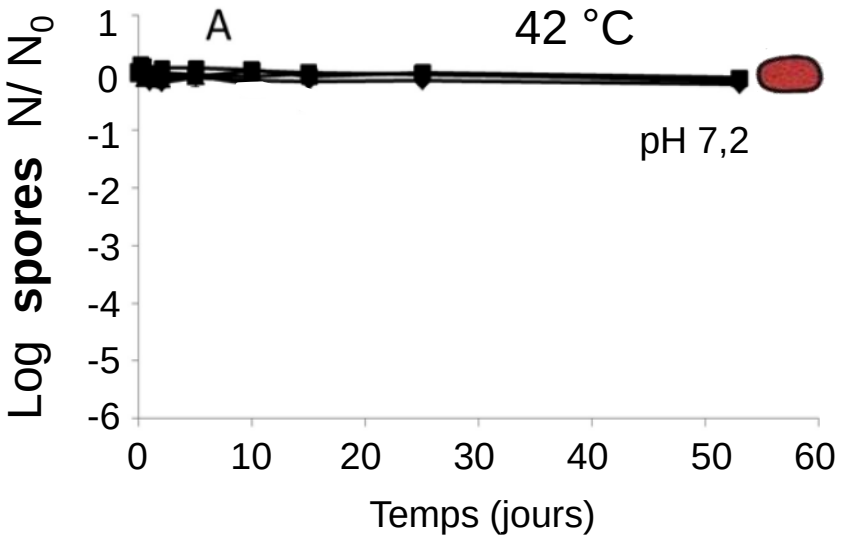


Xu *et al*. (2016) Can. J. Microbiol. 62: 16–23

Impact de la température et du pH sur la persistance de souches de *Clostridium difficile*

Xu *et al.*, 2016

Évolution des teneurs des souches de *C. difficile* (■ R15; ● R3; ♦ GP80; + GP2)



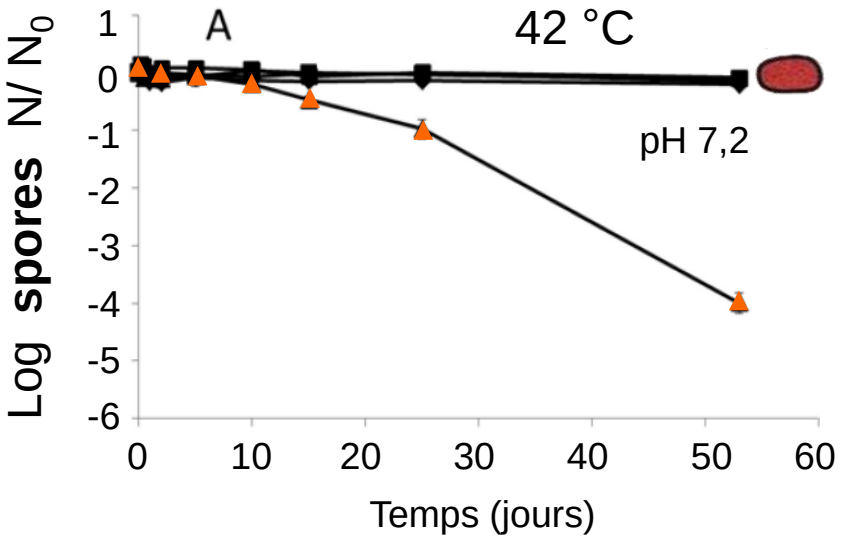
4 souches restent sous forme de spores

Xu et al., 2016 Can. J. Microbiol. 62: 16–23

Impact de la température et du pH sur la persistance de souches de *Clostridium difficile*

Xu *et al.*, 2016

Évolution des teneurs des souches de *C. difficile* (▲ B28; ■ R15; ● R3; ♦ GP80; + GP2)



4 souches restent sous forme de spores

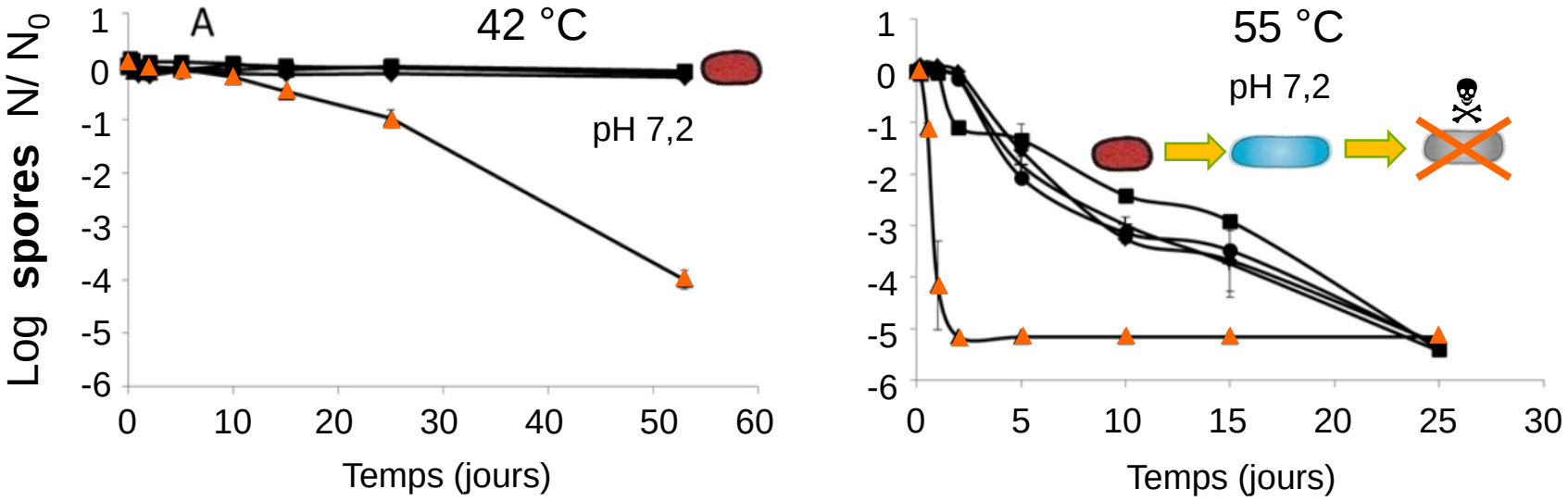
1 souche (B28) passe sous forme végétative

Xu et al., 2016 Can. J. Microbiol. 62: 16–23

Impact de la température et du pH sur la persistance de souches de *Clostridium difficile*

Xu *et al*., 2016

Évolution des teneurs des souches de *C. difficile* (▲ B28; ■ R15; ● R3; ♦ GP80; + GP2)



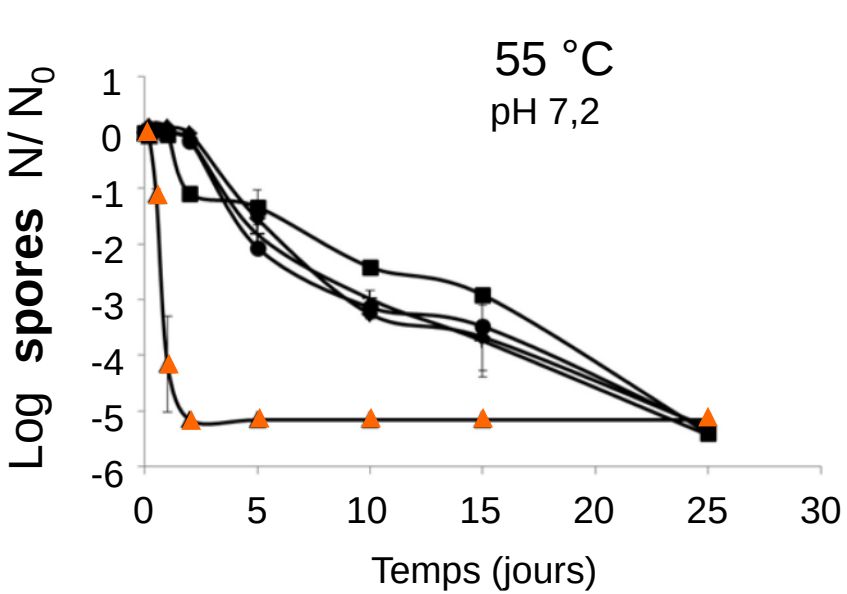
Impact de la température ⇨ germination des souches puis mortalité

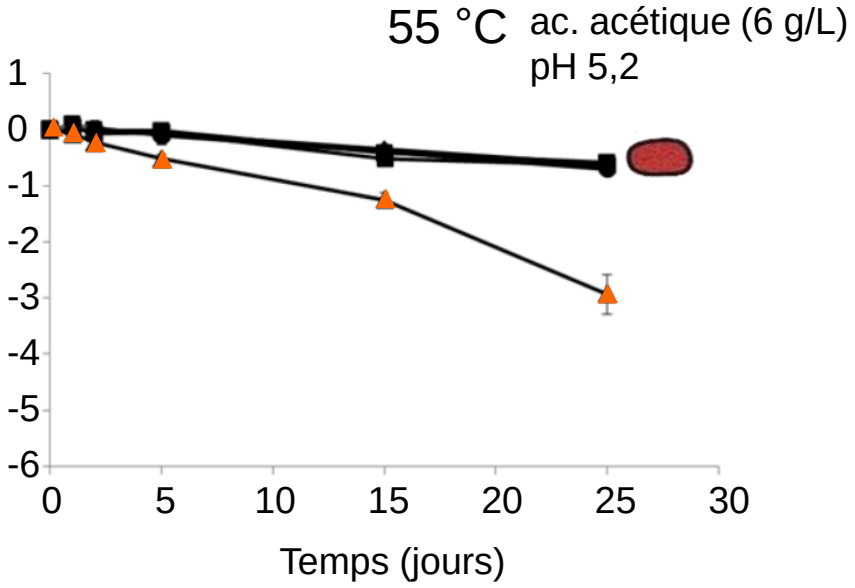
2 possibilités

1) létalité directe des spores
2) germination des spores puis inactivation des formes végétatives

Impact du pH sur la persistance de souches de *Clostridium difficile*

Xu et al., 2016

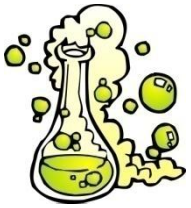




➢ **La présence d'AGV diminue ou inhibe la germination des spores**

Effet multifactoriel

température
pH
souche



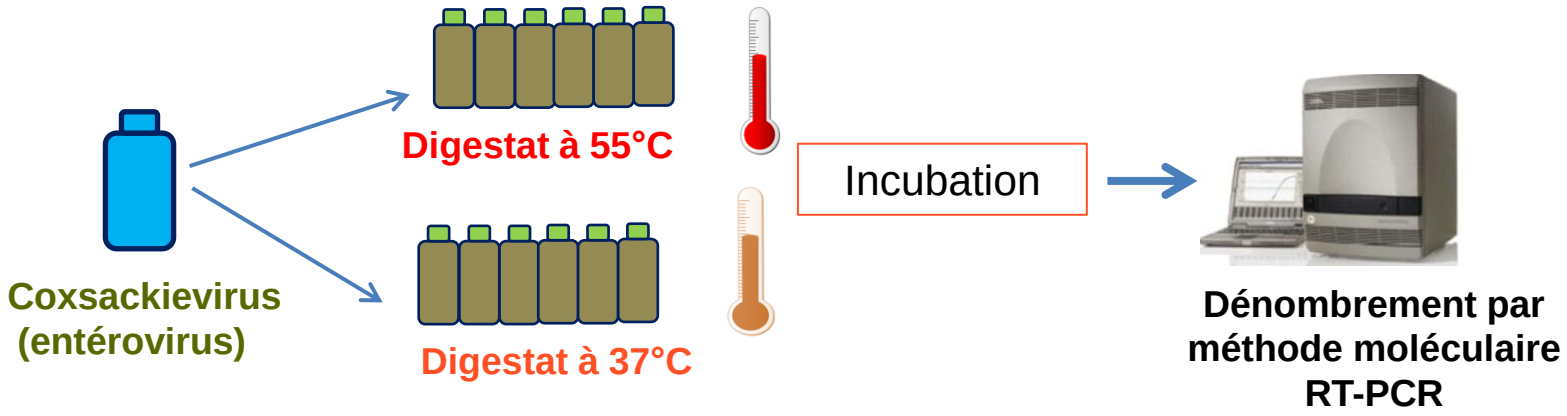
Impact de la température sur la persistance d'entérovirus

Gao *et al.*, 2013

Digestat de méthaniseur agricole (fumier de bovin); pH : 7,9, MS : 10%

- maintenu à 55°C : digestion thermophile

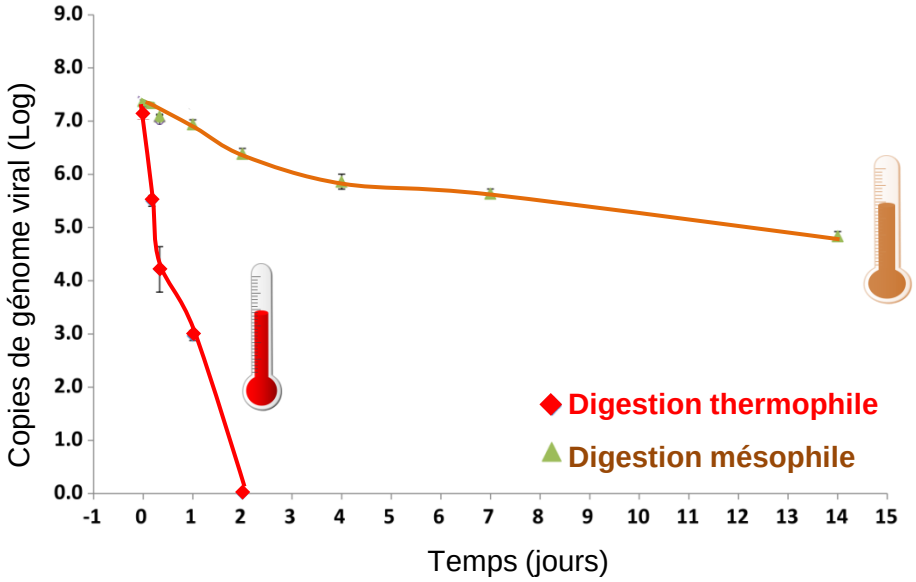
- adapté à 37°C : digestion mésophile



Gao *et al.* (2013) Water Research (47) 4259-4264

Impact de la température sur la persistance d'entérovirus

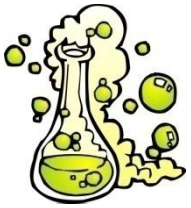
Gao *et al.*, 2013



- Digestion anaérobie mésophile ⇨ entérovirus peu inactivé

- Digestion anaérobie thermophile ⇨complètement inactivé en 2 jours

L'effet virucide de la digestion anaérobie thermophile est attribuée à l'action synergique de la température de 55°C et d'éléments biochimiques et biologiques



Impact de la température sur la persistance de virus

Bøtner et Belsham, 2012

5 virus inoculés séparément

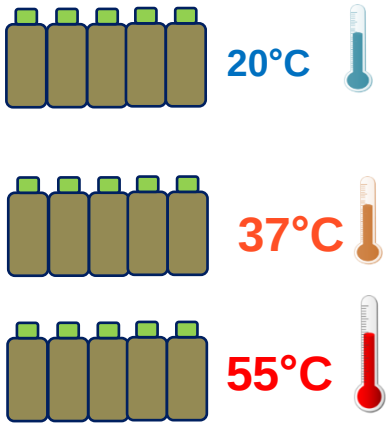
FMDV, virus de la fièvre aphteuse

PPV, virus de la parvovirose porcine

CSVF, virus de la Peste porcine classique

BVDV, virus de la diarrhée virale bovine

SIV, virus de la grippe porcine



Dénombrement par culture

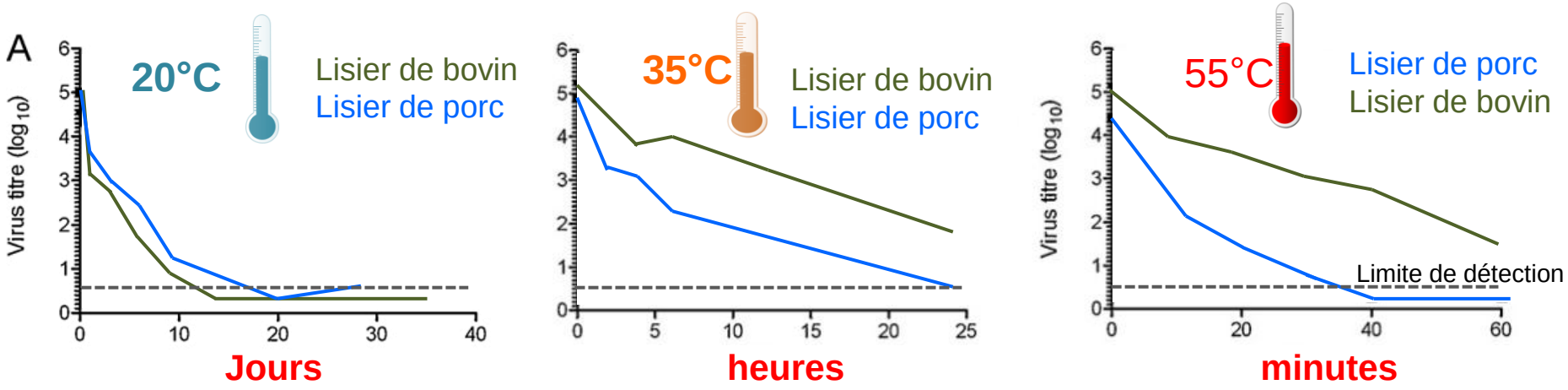
Lisier de bovin
ou
Lisier de porcs

Bøtner et Belsham (2012) Veterinary Microbiology (157) 41–49

Impact de la température sur la persistance de virus

Bøtner et Belsham, 2012

Virus de la fièvre aphteuse



- **Cinétique de disparition du virus FMDV dépend**
  - **de la température**
  - **du type de lisier**

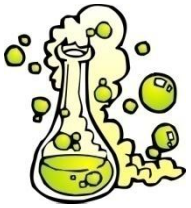
Impact de la température sur la persistance de virus

Bøtner et Belsham, 2012

Temps nécessaire pour obtenir une inactivation des virus

	FMDV Virus de la fièvre aphteuse		PPV virus de la parvovirose porcine	CSVF virus de la peste porcine classique	BVDV virus de la diarrhée virale bovine	SIV virus de la grippe porcine
	lisier de bovin	lisier de porc	lisier de porc	lisier de porc	lisier de bovin	lisier de porc
C initiale ($DICT_{50}$/50µL)	10^5	10^5	10^6	10^4	10^5	10^6
20°C	**21 jours**	**14 jours**	**>43 semaines**	**14 jours**	**3 jours**	**15 jours**
35°C	**≈ 24 h**	**24 h**	**21 semaines**	**4h**	**3 h**	**≈ 24 h**
55°C	**≈ 1h**	**40 min**	**8 jours**	**< 5 min**	**5 min**	**1h**

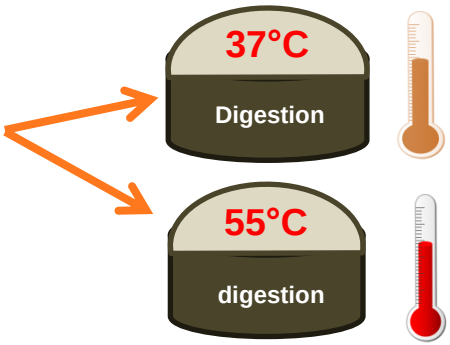
- **Effet de la température inactivation**
  - **de 4 à 24h à 35°C**
  - **de qq minutes à 55°C**
- **Effet « virus »**



Impact de la température sur la persistance de bactériophages et de *E. coli*

Astals *et al*., 2012

Boues de STEP



	Pilote mésophile	Pilote thermophile
TRH (jours)	20	15
Charge organique g MV L^{-1} J^{-1}	1,1	1,5

Réacteurs en semi continu

Alimentation :
mélange de boues primaires (60%) et de boues activées (40%) ajusté pour obtenir une concentration en solides de 30 g /L

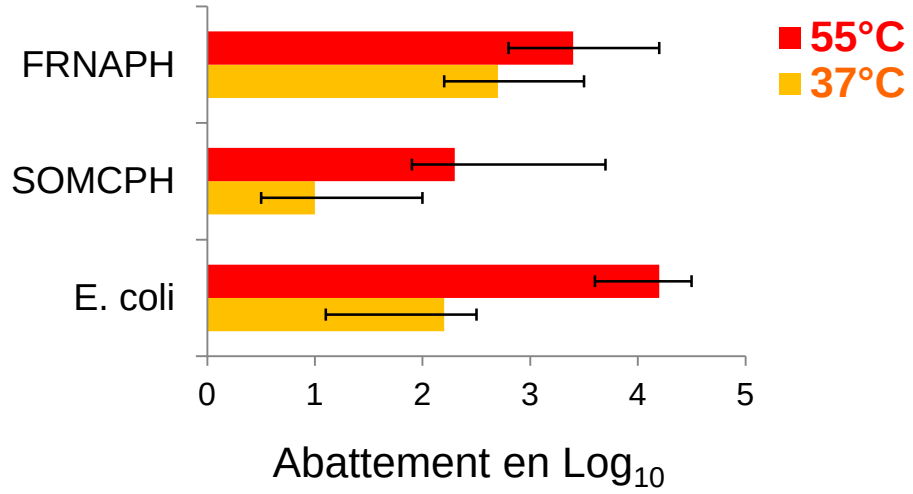
Quantification par méthode culturale

- coliphages somatiques
- bactériophages F-RNA spécifiques
- *E. coli*

Astals *et al*. (2012) Water research (46) 6218-6227

Impact de la température sur la persistance de bactériophages et de *E. coli*

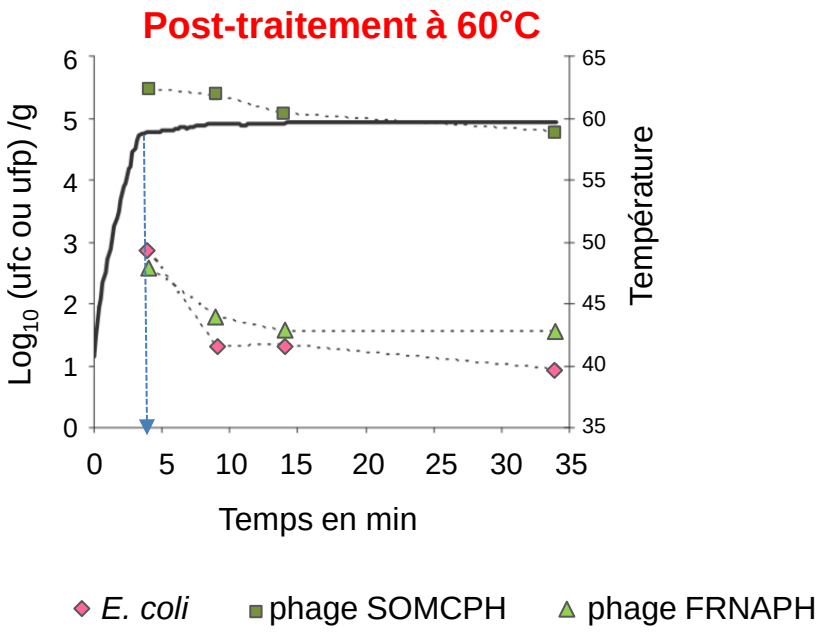
Astals *et al.*, 2012



- **Impact de la température sur les phages et *E. coli***
- **Effet micro-organisme**

Impact de post traitement la persistance de bactériophages et de *E. coli*

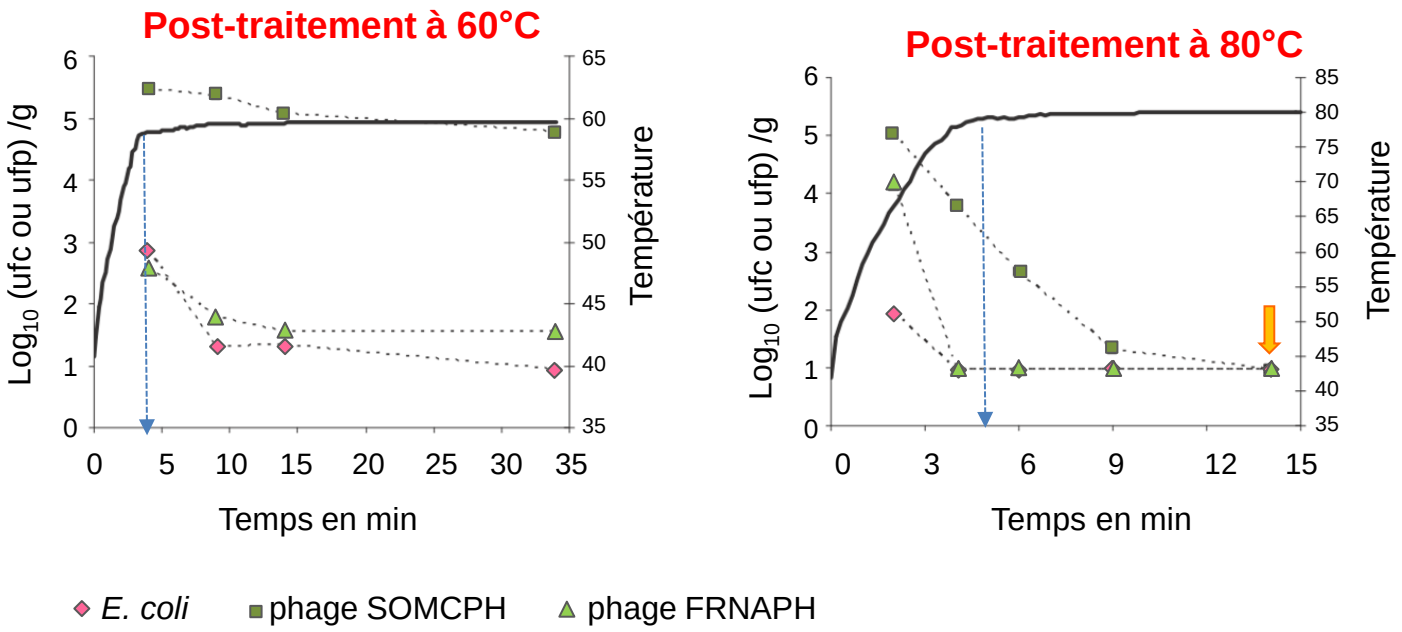
Astals *et al*., 2012



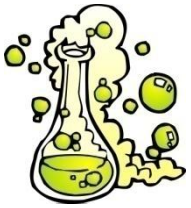
➢ **Pas d'impact du post traitement à 60°C sur les phages somatiques**

Impact de post traitement la persistance de bactériophages et de *E. coli*

Astals *et al*., 2012



➢ **post traitement à 80°C : Inhibition sur les 3 micro-organismes**



Impact de différents types de filières sur les micro-organismes

Levantesi *et al*., 2015

Boues activées d'une station d'épuration

Pilotes de 7 L
Semi continu

Plusieurs expériences

DAT Digestion anaérobie thermophile	DAM Digestion anaérobie mésophile	DAM + digestion aérobie	DAM + DAT	Sonication + DAM + DAT
55°C digestion	37°C Digestion	37°C Digestion + Bassin aérobie	37°C digestion + 55°C Digestion	Ultra sons + 37°C digestion + 55°C Digestion
8j	15j	15j + 12j	2X 5j + 2X10j	2X 5j + 2X10j

Quantification par méthode culturale :

E. *coli, C. perfringens* et phages somatiques

Sonication

0,4-0,5 kwh/kg mat sèche

Levantesi *et al*. (2015) Environ Sci Pollut Res 22:7237 – 7247

Impact de différents types de filières sur les micro-organismes

Levantesi *et al*., 2015

Prévalence et abattement (en Log_{10})

(teneur initiale, g poids sec)	DAT	DAM
E. coli $3\ 10^3$ - $3\ 10^6$	0/8	7/7
	>2,9-<5,3	1,2
Phages somatiques $7\ 10^5$ -10^7	4/5	6/6
	2,2	0,9
C. perfringens $9\ 10^3$ - $2\ 10^6$	8/8	7/7
	0	0

Impact sur la disparition des micro-organismes :

DAT > DAM

Impact de différents types de filières sur les micro-organismes

Levantesi *et al*., 2015

Prévalence et abattement (en Log_{10})

(teneur initiale, g poids sec)	DAT	DAM	DAM + bassin aérobie
E. coli $3\ 10^3$ - $3\ 10^6$	0/8	7/7	4/7
	>2,9-<5,3	1,2	2,4
Phages somatiques $7\ 10^5$ -10^7	4/5	6/6	4/4
	2,2	0,9	2
C. perfringens $9\ 10^3$ - $2\ 10^6$	8/8	7/7	7/7
	0	0	0

Impact sur la disparition des micro-organismes :

DAT > DAM + bassin aérobie > DAM

Impact de différents types de filières sur les micro-organismes

Levantesi *et al*., 2015

Prévalence et abattement (en Log_{10})

(teneur initiale, g poids sec)	DAT	DAM	DAM + bassin aérobie	DAM + DAT
E. coli $3\ 10^3$ - $3\ 10^6$	0/8	7/7	4/7	0/4
	>2,9-<5,3	1,2	2,4	>3,5-<5,3
Phages somatiques $7\ 10^5$ -10^7	4/5	6/6	4/4	4/4
	2,2	0,9	2	2,3
C. perfringens $9\ 10^3$ - $2\ 10^6$	8/8	7/7	7/7	4/4
	0	0	0	0

Impact sur la disparition des micro-organismes :

DAT > DAM + bassin aérobie > DAM

Impact de différents types de filières sur les micro-organismes

Levantesi *et al*., 2015

Prévalence et abattement (en Log_{10})

(teneur initiale, g poids sec)	DAT	DAM	DAM + bassin aérobie	DAM + DAT	US + DAM +DAT
E. coli $3\ 10^3$ - $3\ 10^6$	0/8	7/7	4/7	0/4	0/4
	>2,9-<5,3	1,2	2,4	>3,5-<5,3	>3,5-<5,3
Phages somatiques $7\ 10^5$ -10^7	4/5	6/6	4/4	4/4	4/4
	2,2	0,9	2	2,3	2,4
C. perfringens $9\ 10^3$ - $2\ 10^6$	8/8	7/7	7/7	4/4	4/4
	0	0	0	0	0

Impact sur la disparition des micro-organismes :

DAT > DAM + bassin aérobie > DAM

Pas d'effet des US

Impact de différents types de filières sur *E. coli, C. perfringens* et autres pathogènes

Orzi *et al*., 2015

Campagne de prélèvement sur 8 filières de méthanisation agricole en Italie

Digestion mésophile : 39- 42°C
Intrant : lisier de porc ou lisier de bovin
Co-substrats d'origine agricole et IAA

	intrant	TSH (jours) min – max	pH min – max	AGV (acétate) (g/L) min – max	NH3 (g/kg) min – max
6 méthaniseurs	lisier de porc	28 à 70	7,7 à 8,5	0,2 à 5	0,5 à 4,7
2 méthaniseurs	lisier bovin	20 à 40	7,7 à 8,2	0,2 à 0,5	0,6 à 1,8

Quantification par méthode culturale de *E. coli* et *C. perfringens*

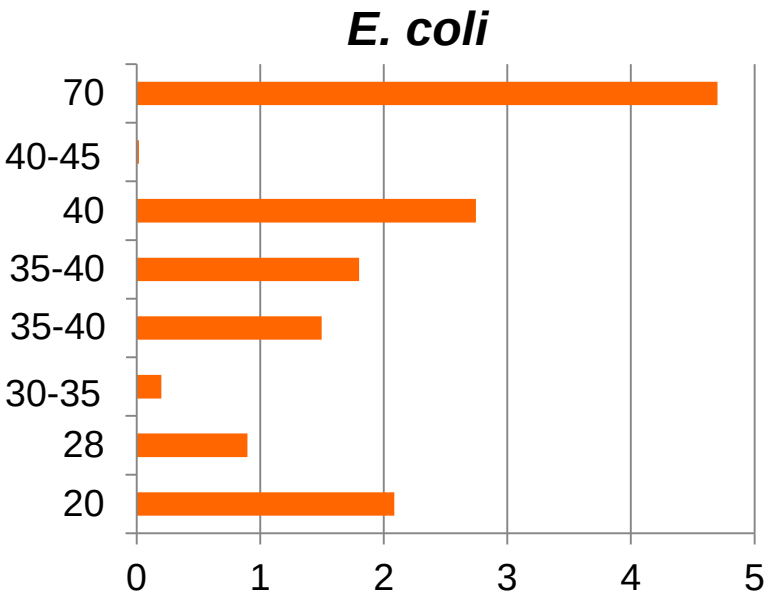
Recherche de *Salmonella, L. monocytogenes, Y. enterocolitica,* œufs d'helminthes

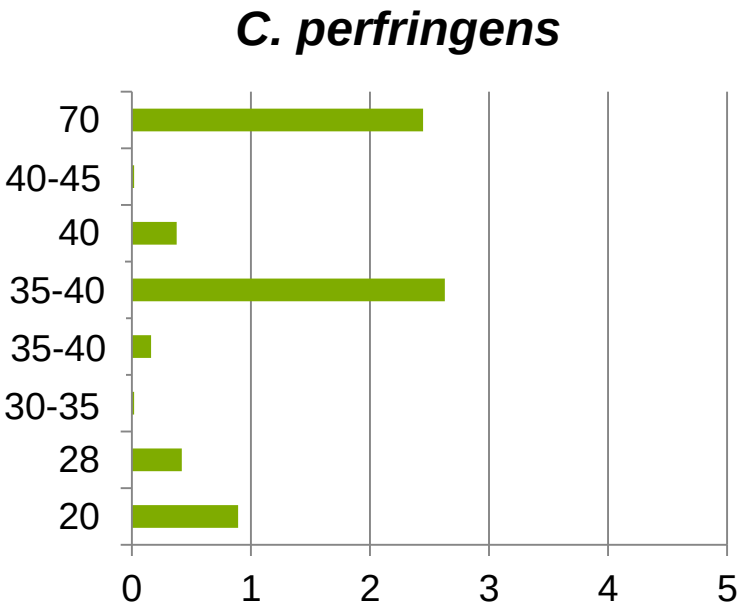
Orzi et al. (2015) Science of the Total Environment (526)116–126

Impact de différents types de filières sur *E. coli* et *C. perfringens*

Orzi *et al*., 2015

Impact du temps de séjour





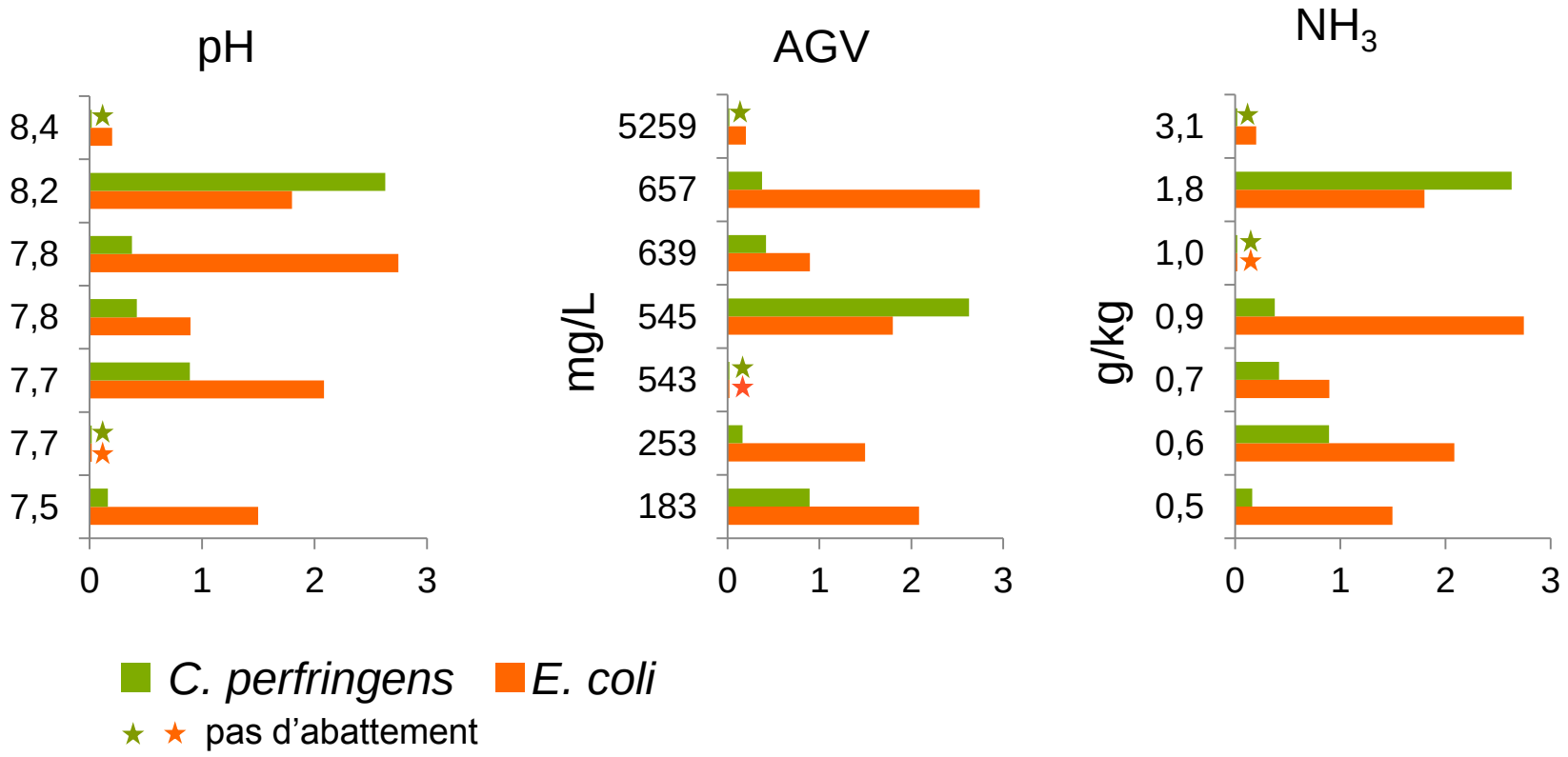
Impact du TSH :

70 jours : abattement le plus élevé

Pas d'impact du TSH

Impact de différents types de filières sur *E. coli* et *C. perfringens*

Orzi *et al.*, 2015



➢ **Pas d'effet des trois paramètres sur l'abattement**

Effet multifactoriel

Impact des filières sur les micro-organismes pathogènes

Orzi *et al.*, 2015

Prévalence des micro-organismes pathogènes

	Salmonella		*L. monocytogenes*		*Y. enterocolitica*		œufs d'helminthes	
TSH (jours)	intrant	digestat	intrant	digestat	intrant	digestat	intrant	digestat
20	+	-	-	-	+	+	-	-
28	-	-	+	+	-	+	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-
37	+	+	-	+	-	-	-	+
37	-	+	-	-	+	-	-	-
40	+	+	+	+	+	+	-	-
42	-	-	-	-	-	-	+	+
70	-	-	-	-	+	-	+	+
% présence	37,5	**37,5**	25	**37,5**	37,5	**37,5**	12,5	**25**

➢ **Pas d'impact de la digestion anaérobie mésophile sur la présence des micro-organismes pathogènes**

Conclusions (1/2)

Digestion mésophile ⇨ peu d'impact sur les indicateurs de traitement et sur les pathogènes ≤ 2 log_{10}

Digestion thermophile ⇨ plus efficace que la digestion mésophile sur les virus et les formes végétatives des bactéries >4 log_{10}

Digestion thermophile ⇨ n'élimine pas ou peu les spores bactériennes et les kystes des parasites

Impact du temps de séjour plus marqué en digestion thermophile qu'en digestion mésophile

Conclusions (2/2)

- **Diversité des intrants et variabilité des données sur l'impact de la digestion anaérobie ⇨ rend difficile toute extrapolation de la persistance des pathogènes**

- **Interactions entre les paramètres biotiques et abiotiques**

- **Très peu de connaissance sur les facteurs autres que la température et le temps de séjour**

- **Quel est l'impact de pré-traitements tels que le traitement thermique à 70°C, 1 heure sur les formes de résistance (virus, spores , kystes) ?**

Merci de votre attention