

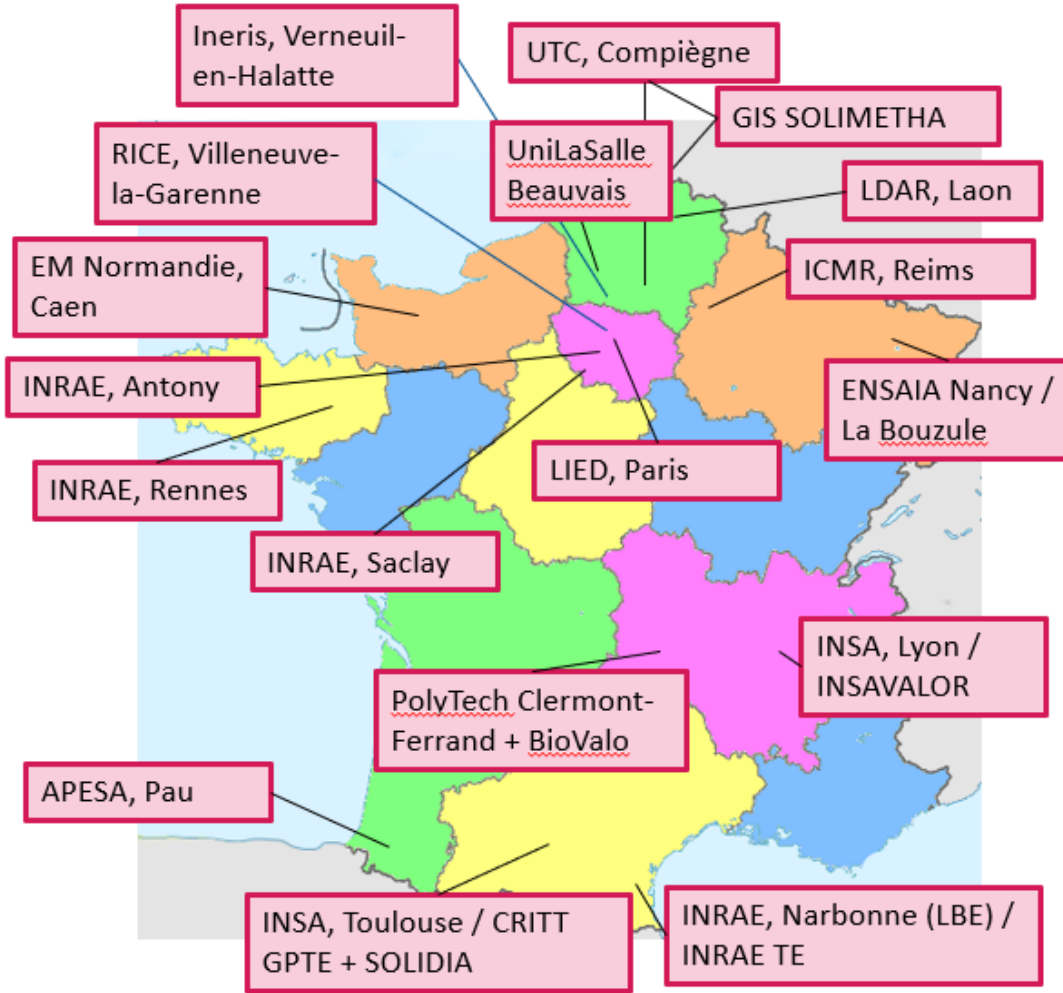


Étude de l'origine des mousses stables en méthanisation agricole

Pascal Peu – UR OPAALE INRAE Rennes

18/09/2023

Centre Technique national du Biogaz et de la Méthanisation



- Réseau des laboratoires
- Vecteur de diffusion des connaissances (InfoMétha.org et [webinaires](#))
- Co-organisateur des [Journées Recherche Innovation](#)
- GT : Valorisation du CO₂, Formations, Emissions fugitives
- Entité du Club Biogaz de l'ATEE, basée à La Défense
- Soutenu par l'ADEME depuis 2019

<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz/ctbm>

MATLA MOUSSE

*Étude de l'origine des mousses
stables en méthanisation agricole*





Mousse c'est quoi ?

Définition du petit Robert :

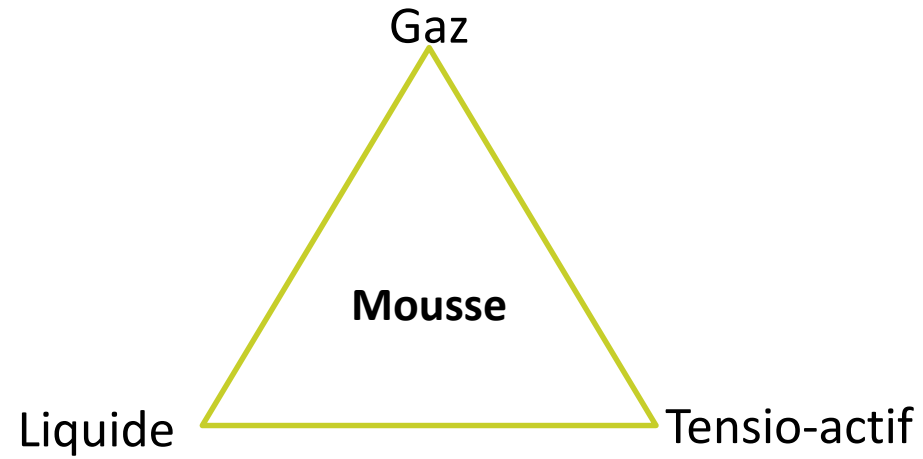


?

➤ Mousse c'est quoi ?



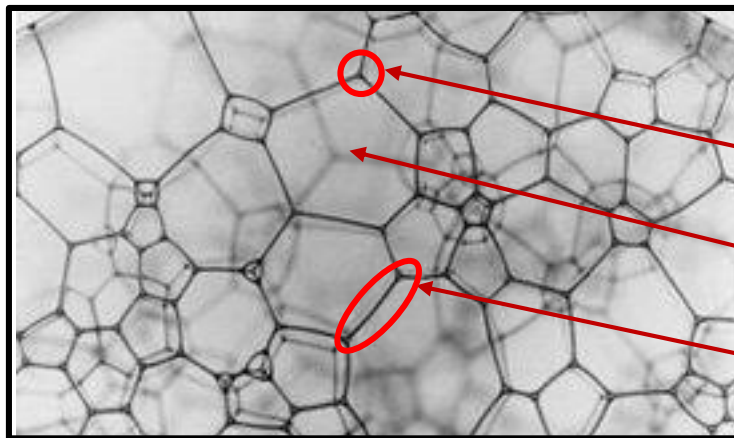
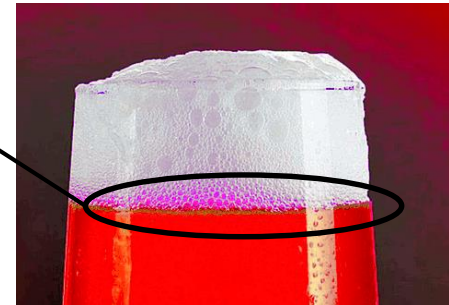
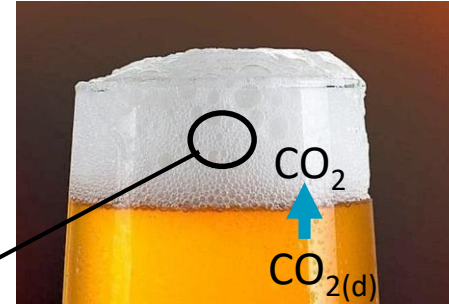
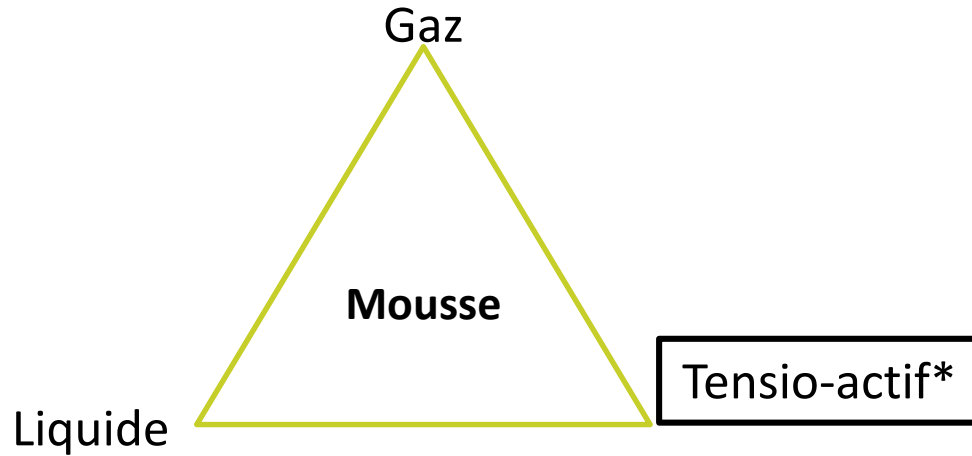
= pas un entremet mais quand même pas loin !



Mousse c'est quoi ?



= pas un entremet mais quand même pas loin !



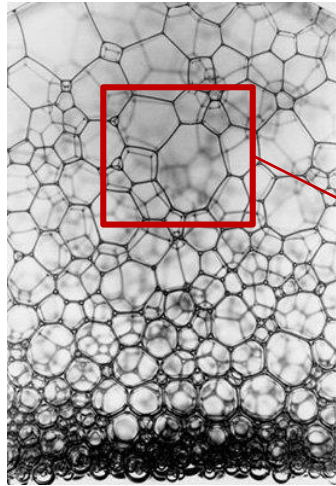
- Noeud
- Bulle formée par un film liquide fin
- Bord de Plateau

*Un agent tensio-actif est une substance chimique ou biologique affectant négativement la tension superficielle du liquide. La tension superficielle est la force entre les molécules à l'interface de deux liquides ou d'un gaz et d'un liquide

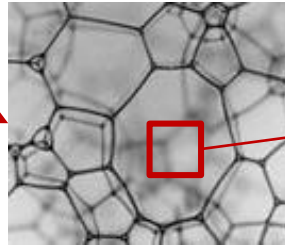


Mousse c'est quoi ?

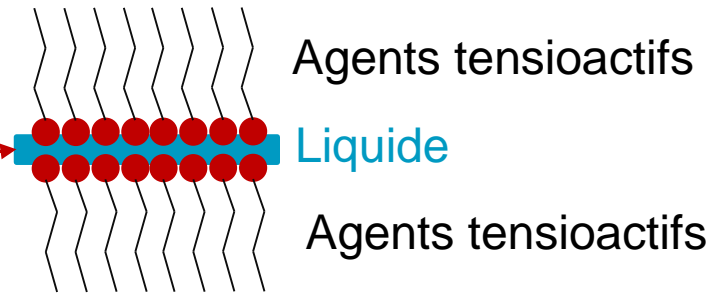
Echelle des mécanismes



Macroscopique



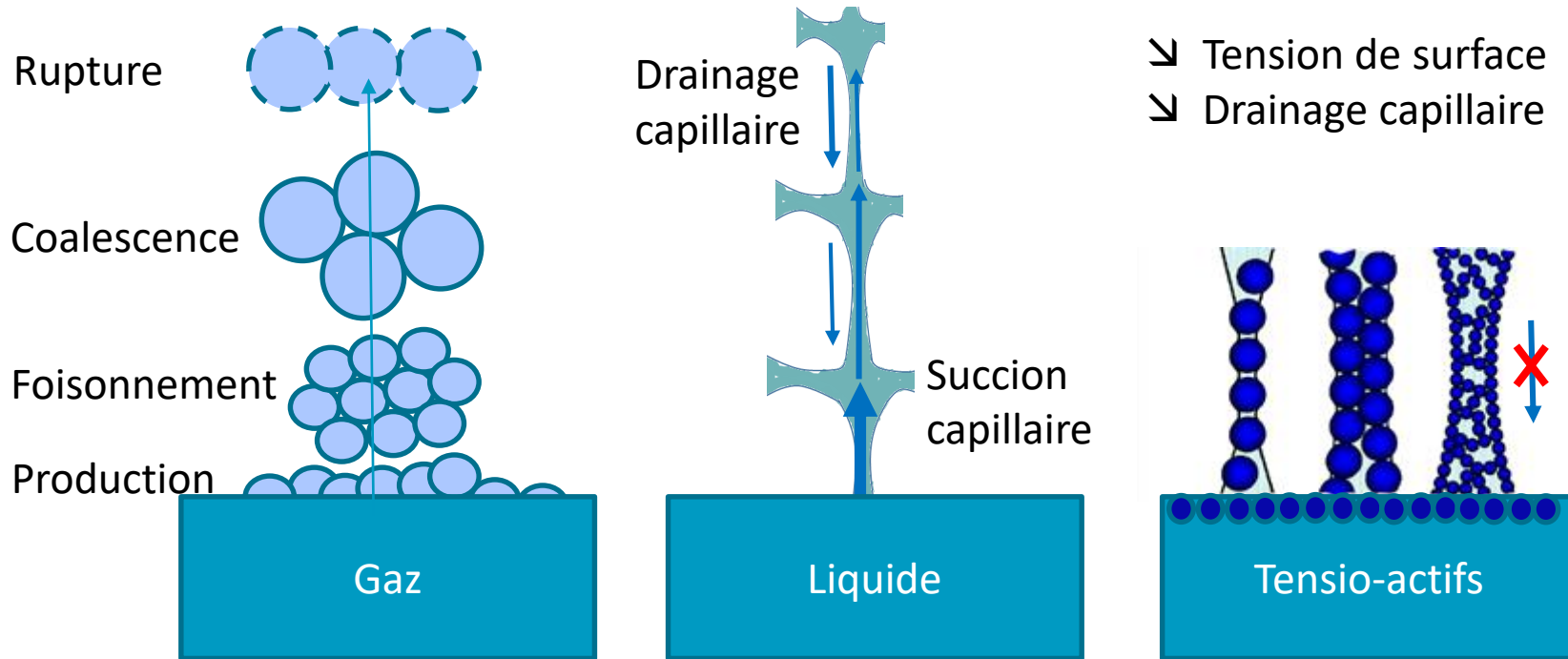
Mésoscopique



Moléculaire

Mousse c'est quoi ?

Vie d'une mousse : Production => Destruction ou pas...



- ↘ Tension de surface
- ↘ Drainage capillaire



Microsecondes à jours = stabilité des mousses

Mousse c'est quoi ?

Persistance

Instable

Stable



Liquide = eau/sucre/alcool
Gaz = CO₂ tensio = Prot. malt



Liquide = eau Gaz = Air
tensio = Prot. globulaire

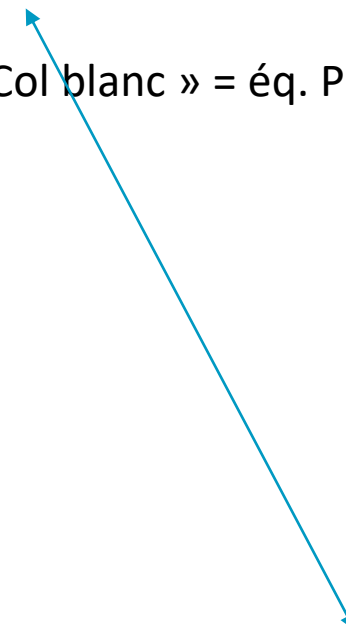


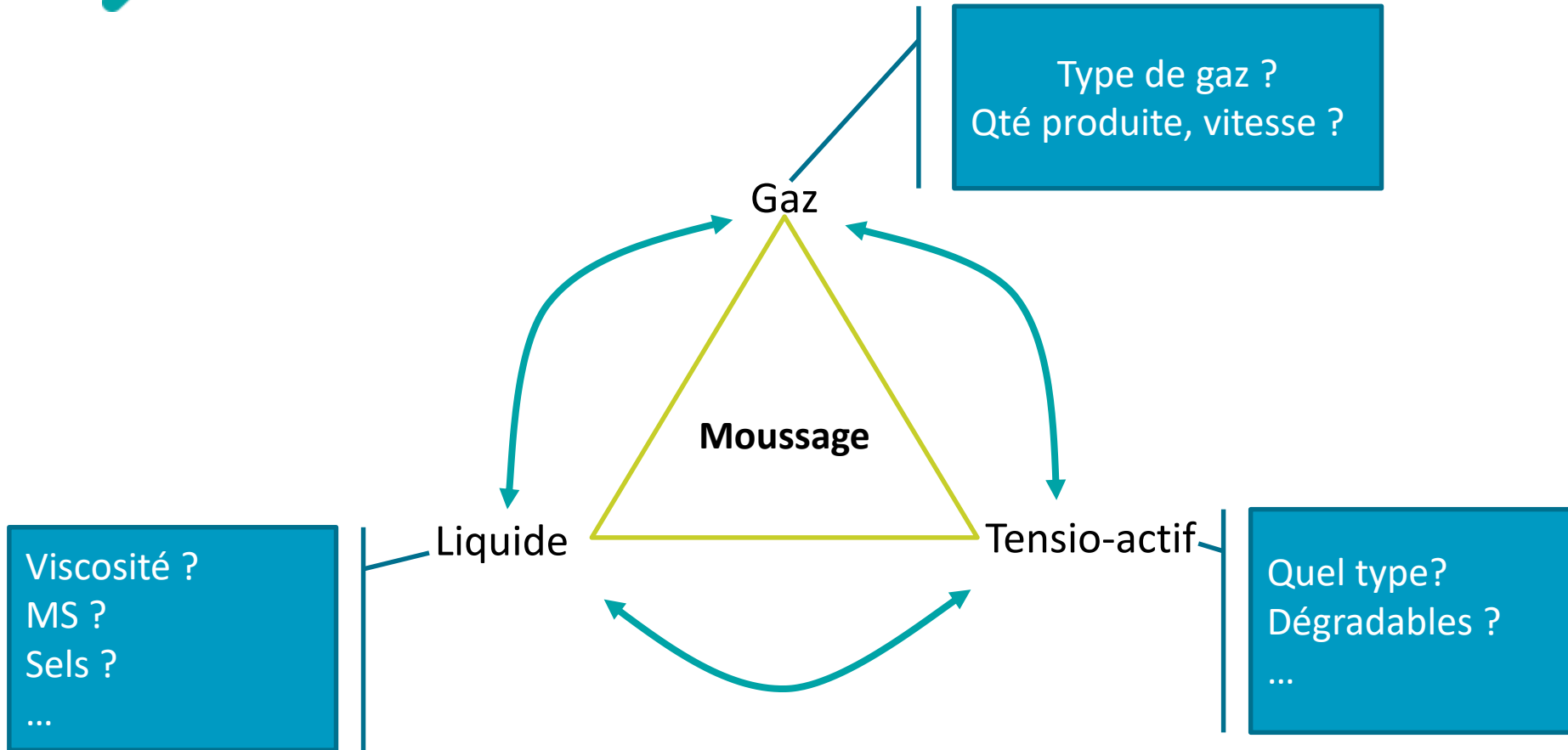
« Col blanc » = éq. P°/D°

Stable = P°



Liquide = eau/sucre/alcool
Gaz = N₂ tensio = Prot. malt

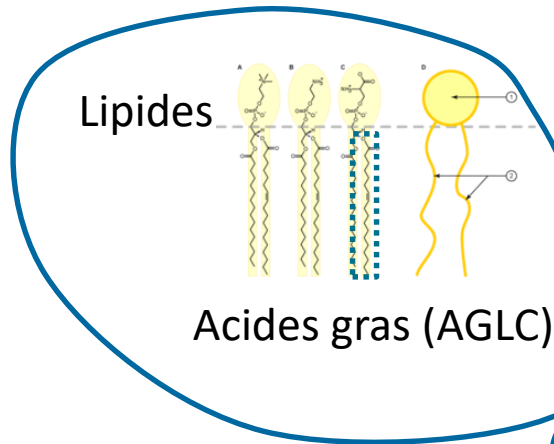




Combinaison de possibilité => diagnostic difficile...

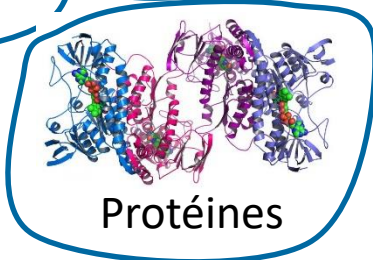
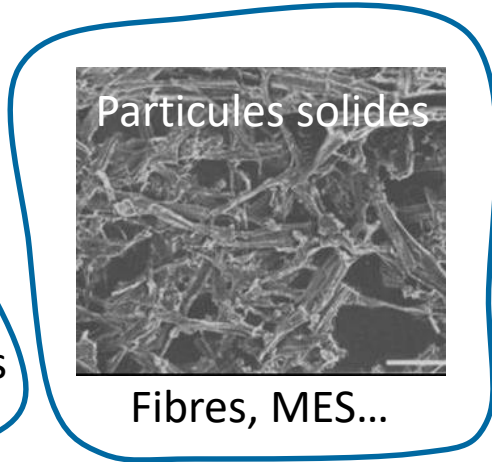
Agents stabilisants des mousses

1. Tensio-actifs (\searrow tension de surface)



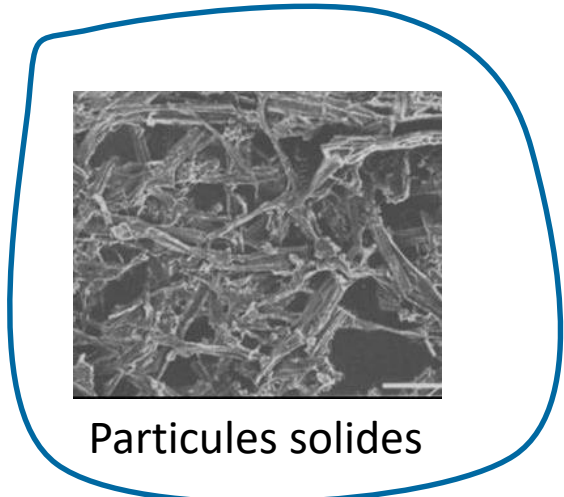
Bactéries

Bactéries Filamenteuses
EPS,



2. Bloquent le drainage

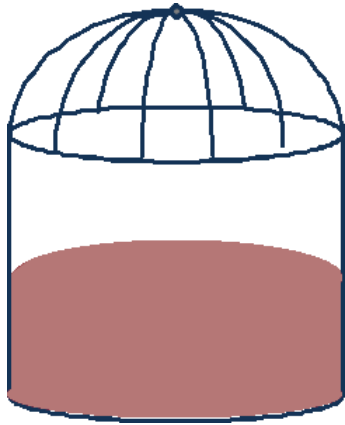
Bactéries





Mousse et méthanisation

Dysfonctionnement majeur en méthanisation



- ✓ Arrêt de l'installation
- ✓ ↘ de la prod° biogaz
- ✓ Temps de gestion = ↘ €
- ✓ ↗ stress





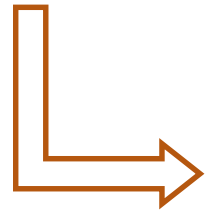
Mousse et méthanisation

Dysfonctionnement majeur en méthanisation

Allemagne sur 3000 unités → **10 %** considèrent le moussage comme problème

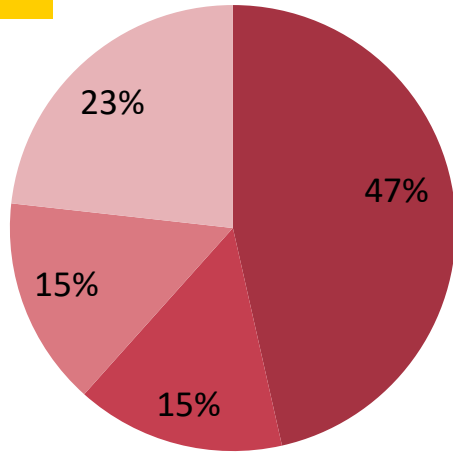
Danemark sur 16 unités centralisées → **40 %** observent la formation de mousse

France sur 30 unités auditées → **65 %** confrontés au moussage (Aile -2018)

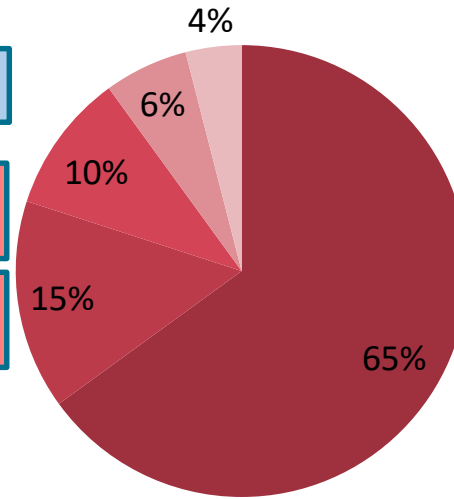
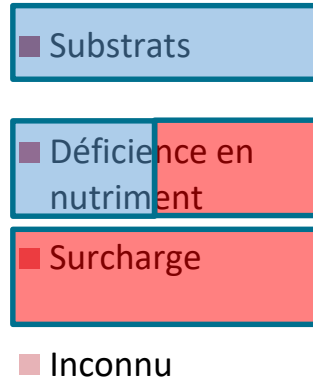


Fréquent

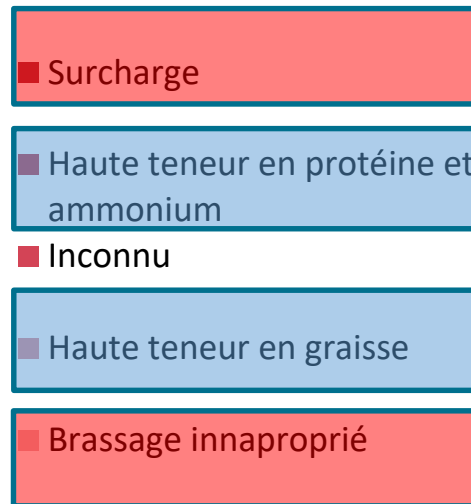
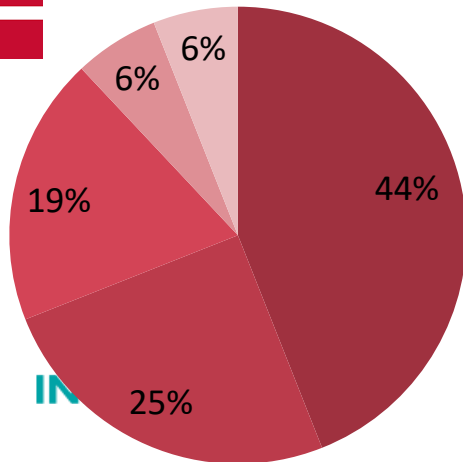
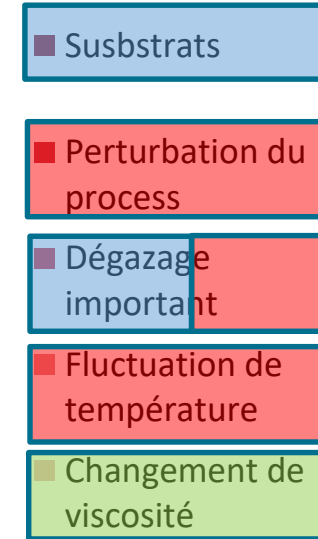
Dommages importants possibles



Moeller & Görsch, (2015)



Lindorfer et Demmig (2016)




=> Ø

Substrats

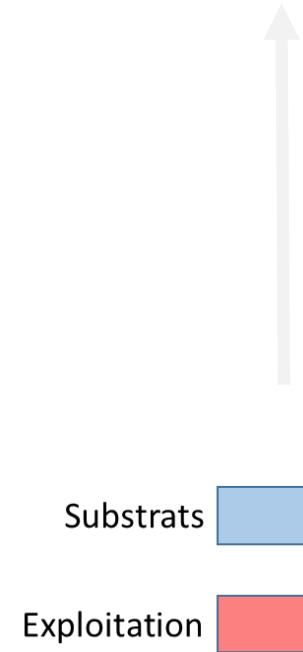
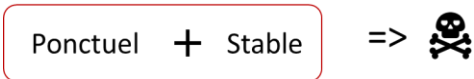
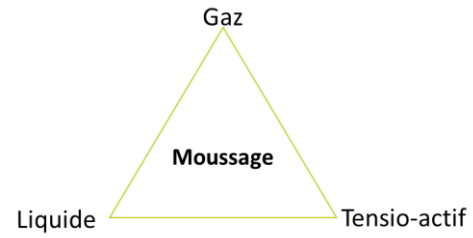
Exploitation



Causes	Détails	Hiérarchisation
Substrats	Trop riches en protéine ou lipide ou ...	Causes majeures  Causes mineures
Perturbation du processus biologique	Suralimentation, ajout d'inhibiteur ou d'éléments toxiques.	
Changements physicochimiques du contenu du digesteur	Changement de température ou de pH peut favoriser le moussage.	

Matlamousse-Questionnaire

Bibliographie - synthèse



MATLAMOUSSE



Recherche des causes (Contexte Français)



1. Questionnaire
 - ✓ Construction
 - ✓ Exploitation
 - ✓ Alimentation

2. Chimique/Physique/
Biologique
 - ✓ Capacité moussante
 - ✓ Stabilité des mousses
 - ✓ Microbiologie

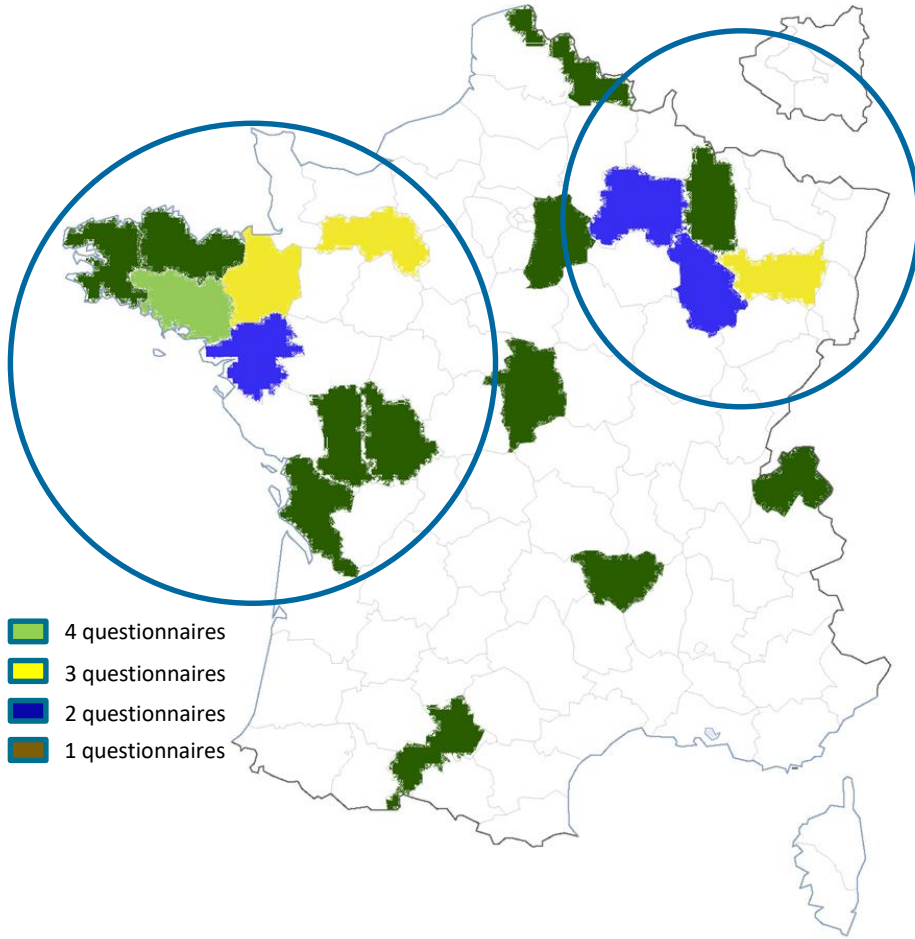


➤ Matlamousse-Questionnaire

Cahier des charges



- Collecte de données sans *a priori*
- Éléments de construction / exploitation (substrats, co-substrats, brassage, analyses ration d'alimentation)
- Caractérisation du phénomène de mousse et solutions apportées par l'exploitant face au phénomène de mousse
- Min sur période de temps s'étendant sur 2 à 3 fois le temps de séjour

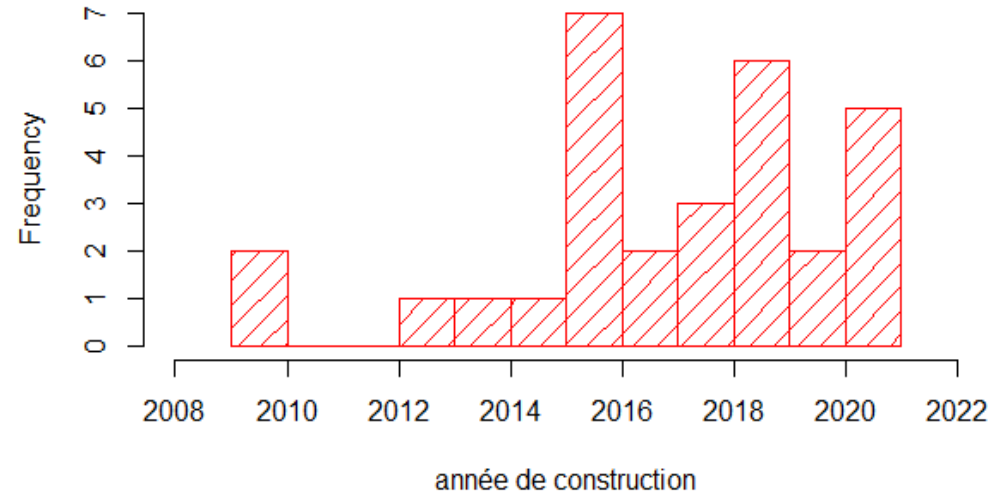
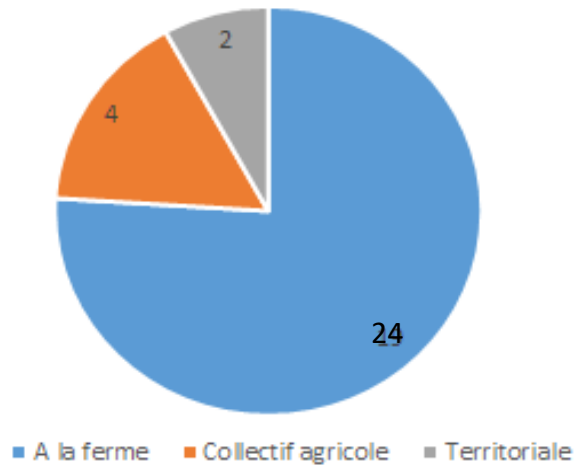


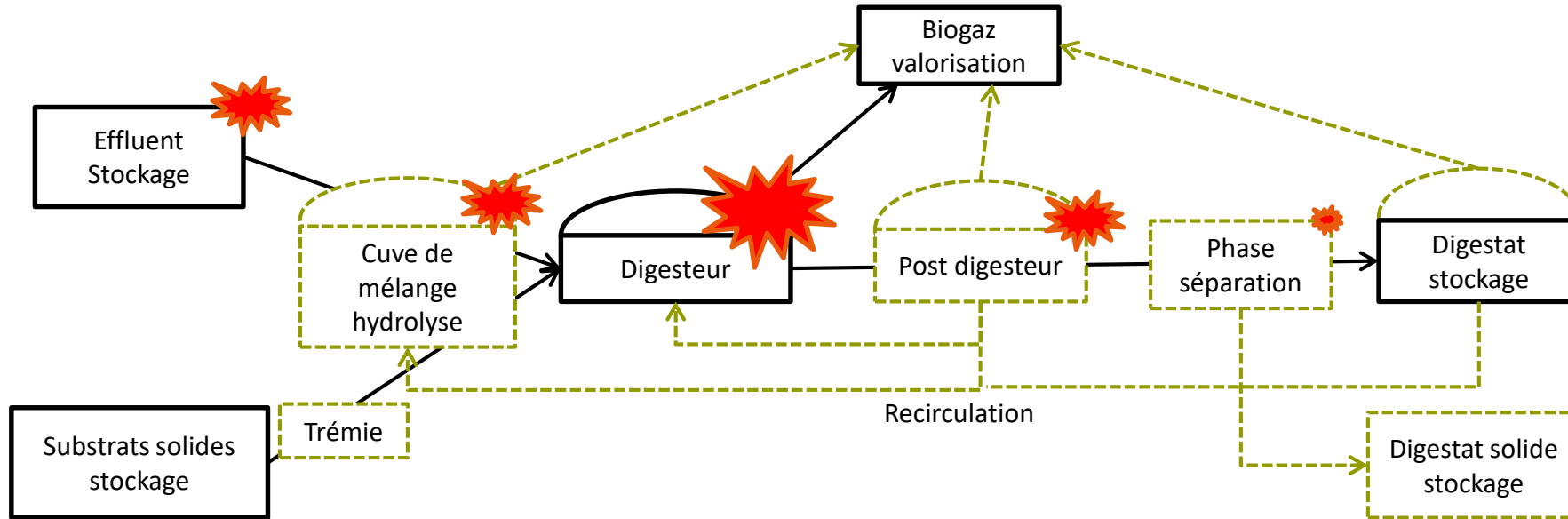
AURA-EE
SOLAGRO
l'AREC Ile-de-France
l'ADEME régionale
METHAN-ACTION

➤ 30 questionnaires exploitables

Matlamousse-Questionnaire

Sites auditionnés







=> De la mousse partout mais principalement dans les digesteurs



Matlamousse-Questionnaire

Recueil des caractéristiques de la mousse

Intallations	X1	X2	X3	X4	X5	
Lieu de moussage	Fosse de pré-mélange	Digesteur	Post-digesteur	Digesteur	Fosse de stockage	Digesteur
Temps de formation	Quelques heures	Quelques heures	Quelques heures	Quelques minutes	Quelques minutes	Quelques minutes
Fréquence de formation	Ponctuellement	Constante	Une fois	Constante	A chaque introduction	Constante
Hauteur de mousse	80 cm à 1,5m	~20 cm (1,5 m max)	~ 20 cm	2 à 30 cm	~ 20 cm	-
Diamètre des bulles	Quelques millimètres à 3cm	Quelques millimètres à 3cm 3/4 cm au repos	0,5 cm à 4 cm	Quelques millimètres à 3cm	< 5 mm	0,5 à 4 cm
Couleur	Marron foncé	Marron grise avec des reflets jaunes verts	Marron foncé reflets colorés	Marron	Marron clair	Marron foncé
Texture	Liquide, visqueuse et dense	Au repos : stable, solide et visqueuse	Liquide, aérée	Dense, intégré au digestat	Dense (presque solide)	Légère, aéré
Photo de la mousse						

➤ Matlamousse-Questionnaire

Substrats et co-substrats

Fréquence supérieure à 30%	Fumier de Bovins, Déchets de céréales, Lisier Bovin, Ensilage de Maïs, Cive Seigle, Tonte de pelouse
Fréquence comprise entre 10 et 30%	Lisier Porcin, Paille, Cive Avoine, Bio-déchets (déchets cantine), Matières stercoraires (bovin), Déchets de fruits et légumes, Déchets de pomme de terre, fumier de Volailles, Marcs de Pommes

=> fréquence plus élevée que la normale (**polysaccharidique** associée à une biodégradabilité rapide)

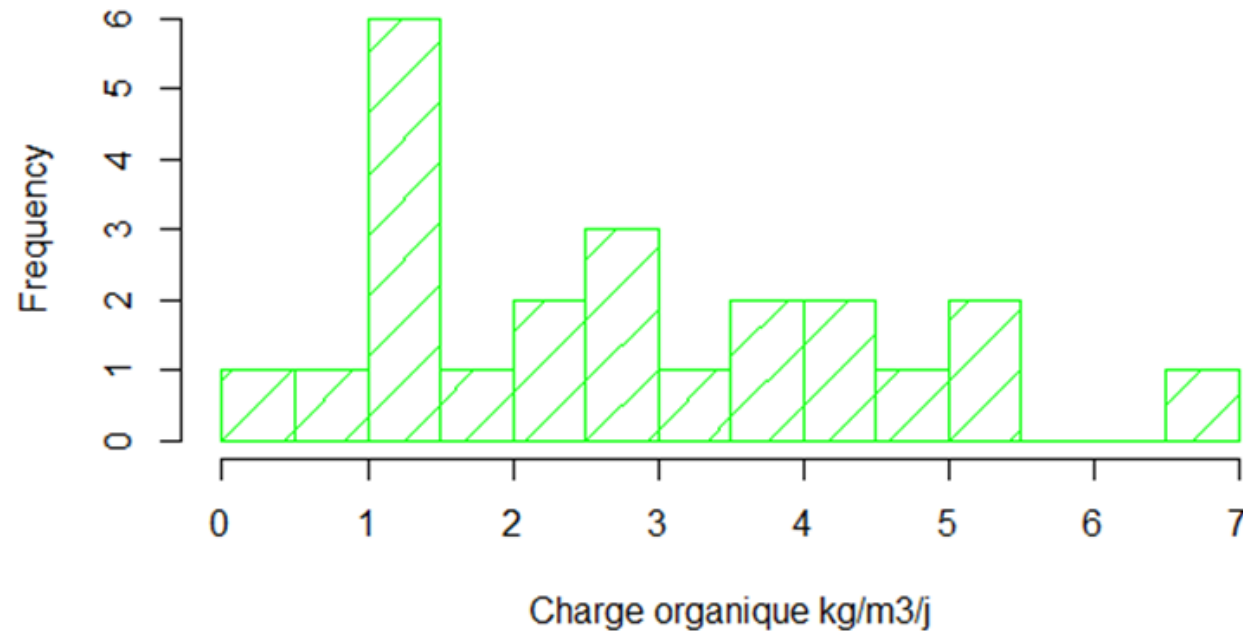
Coque de lupin, Fauche de bord de route, Pulpe de betterave, Fientes, Marc de café, Purée de fruits, Pate de neutralisation, Le pain, Déchet grassex, Déchets IAA animal et abattoir, Graisse d'abattoir bovin (flottation), Graisses d'abattoir porc (flottation), Lait, Lactosérum, Petit lait de fromagerie, lait écrémé en poudre, Caséine, Perméat de lait, Boues laiteries, Glycérine, Jus de silo

=> substrats « exotiques » retrouvés rarement dans les exploitations mais présents sur celles impactées

➤ Matlamousse-Questionnaire

Éléments de construction et paramètres d'exploitation

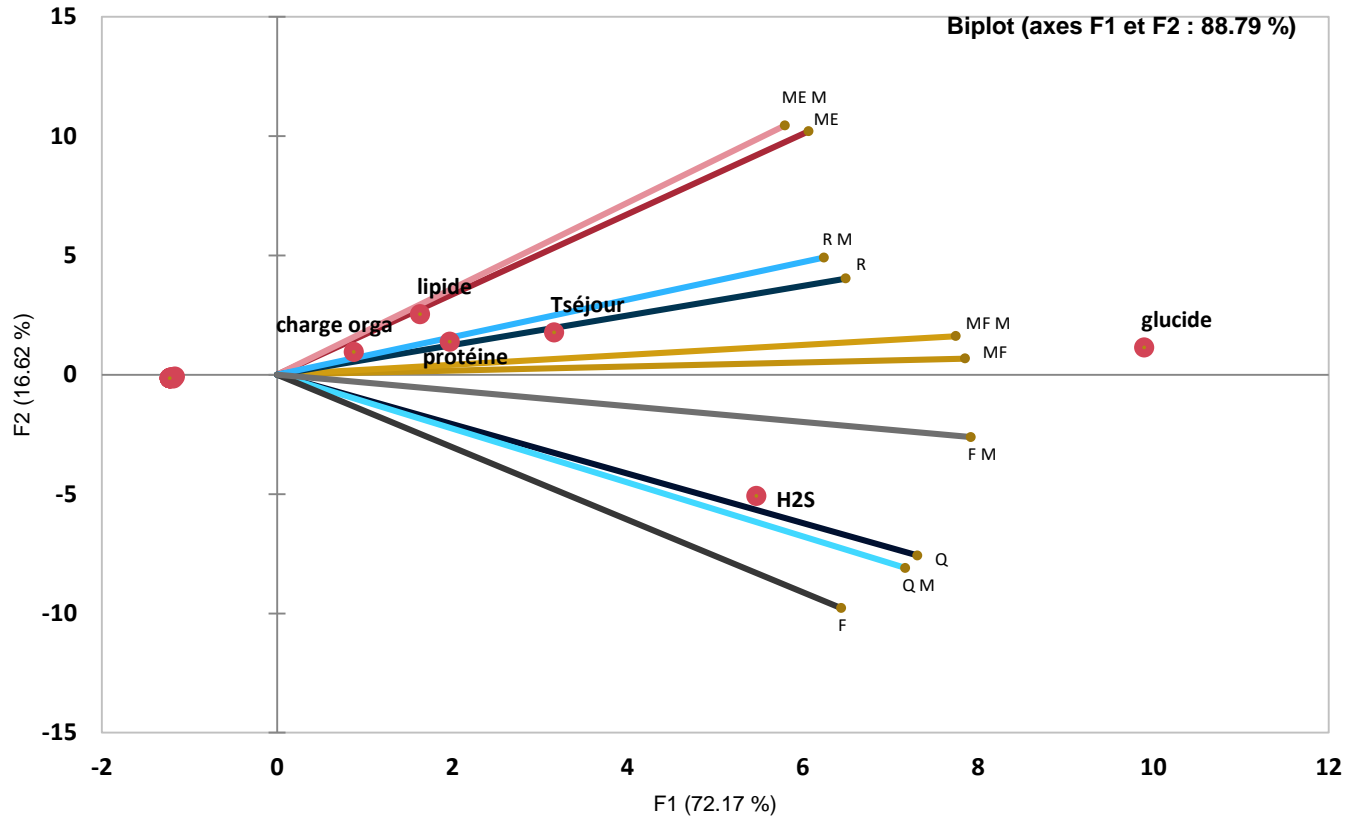
- 50% des installations = cuve de prémélange (+ si comptage des « hydrolyses »)
- 50% agitateurs horizontaux en couplage avec agitateurs axiaux (30%) = (hypothèse =sédimentation, émulsion ?)
- Charge appliquée 6/30 => ↗ 4 kg/m³



➤ Matlamousse-Questionnaire

Analyse des installations avec moussages ponctuels

➤ 5 installations (données avant vs. pendant)



Alimentation du digesteur : la charge organique, le temps de séjour, qualité intrinsèque des substrats => substrats riches en polysaccharides (tontes de pelouses, les matières stercoraires pulpes de betteraves, sous-produits à base de lait)

➤ Matlamousse-Questionnaire

Conclusions

- 30 questionnaires exploitables (peu...)
- De la mousse partout mais principalement dans les digesteurs
- Pas une mousse mais des mousses (temps apparit° / fréq. / texture)
- Substrats impliqués (**polysaccharidiques**), des exotiques...
- Exploitation / Construction (brasseurs, charge etc.)

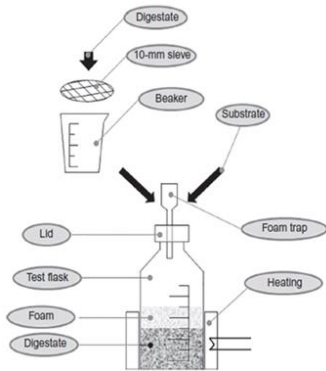


- Collecte de données (échantillons en plus)
- Caractérisations physico-chimiques et microbiologiques
- 6 mois de suivi 6 installations (1/mois)

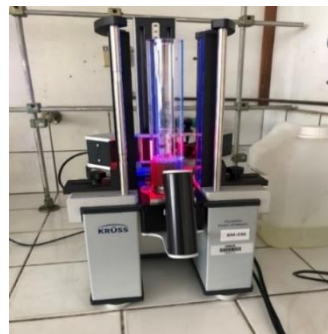
Nom de l'unité	Localisation	Typologie	Substrats prélevés
X1	35	Collectif agricole	Soupe de déconditionnement, pâte de neutralisation, lisier, ensilage de seigle, digestat, boue d'abattoir
X2	35	A la ferme	Ensilage d'orge, graisse flottaison
X3	22	A la ferme	Fumier bovin, matière stercoraire, pâte de neutralisation, produit pédiluve, digestat
X4	56	A la ferme	Lisier porc, fumier bovin, ensilage maïs, déchets de céréales, digestat
X5	61	A la ferme	Ensilage seigle, marc de café, jus de silos, digestat
X6	35	A la ferme	Ensilage de seigle, digestat
X7	17	Territorial	Issues de céréales, fumier zoo, fumier bovin, digestat
X8	17	A la ferme	Fumier cheval, fumier bovin, vinasse fruits, digestat
X9	79		Lisier porc et bovin, fumier, digestat, issues de céréales
X10	52		Ensilage maïs, ensilage sorgho, ensilage seigle, fumier, purée fruits distillés, digestat
X11	35	A la ferme	Ensilage de seigle, digestat
X12	61		Ensilage de seigle, ensilage de maïs, jus de silos
X13	18		Lies de vin, lactosérum, eaux de lavage, lisier, ensilage méteil
X14	29	Industriel territorial	Graisse, lisier, digestat
X15	77	A la ferme	Lisier bovin, ensilage de seigle, ensilage de maïs, issues de silos, pulpes de betteraves, digestat
X16	69	Territorial	Ensilage de maïs, issues de silos, pulpes de betteraves, digestat
X17	35	A la ferme, voie solide garage	Fumier bovin, fumier chèvre, menue paille, digestat
X18	22	A la ferme	Ensilage maïs, ensilage seigle, fumier bovin, lisier porc, digestat, betterave
X19	35	A la ferme	Lisier porc, fumier bovin, ensilage maïs, digestat
X20	44	A la ferme	Lisier bovin, fumiers volaille, bovin et canard, paille, déchets petfood, ensilage seigle, ensilage maïs

➤ Matlamousse-Suivi des installations Caractérisations

- La matière sèche et organique
- Foss / TAC
- Pouvoir moussant - Leipzig Foam Tester



- Dynamic Foam Analyser



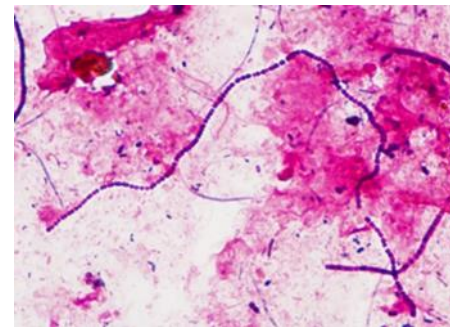
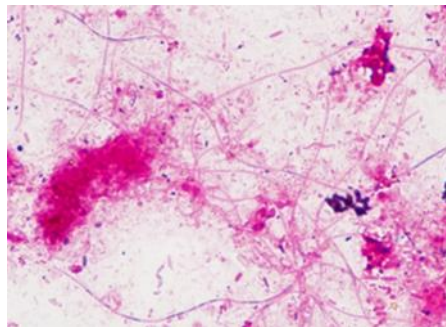
➤ Matlamousse-Suivi des installations

Caractérisations

➤ Analyses microbiologiques de l'indice filamenteux (IF)



- Subjective index (1-6)
- 0 : no filament / observed field
- 1 : few filaments,
- 2 : some filaments,
- 3 : frequently , 1 à 5 filament
- 4 : very frequently, 5 à 20 filaments
- 5 : abundant, >20 filaments
- 6 : in Exces,



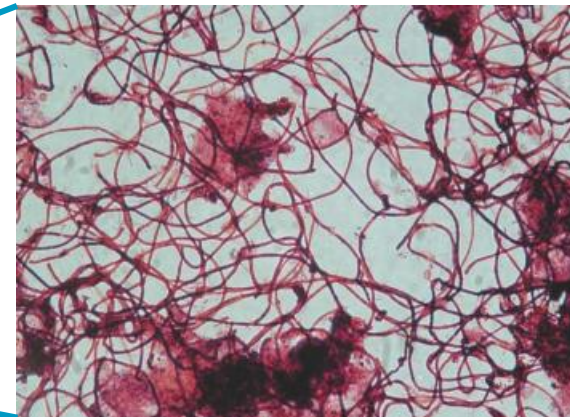
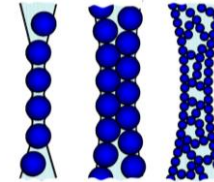
➤ Matlamousse-Suivi des installations Caractérisations

- Analyses microbiologiques de l'indice filamenteux (IF)
 - bactéries impliquées dans la formation de mousses STEP = bactéries filamenteuses



✓ Bactéries = Tensio-actif

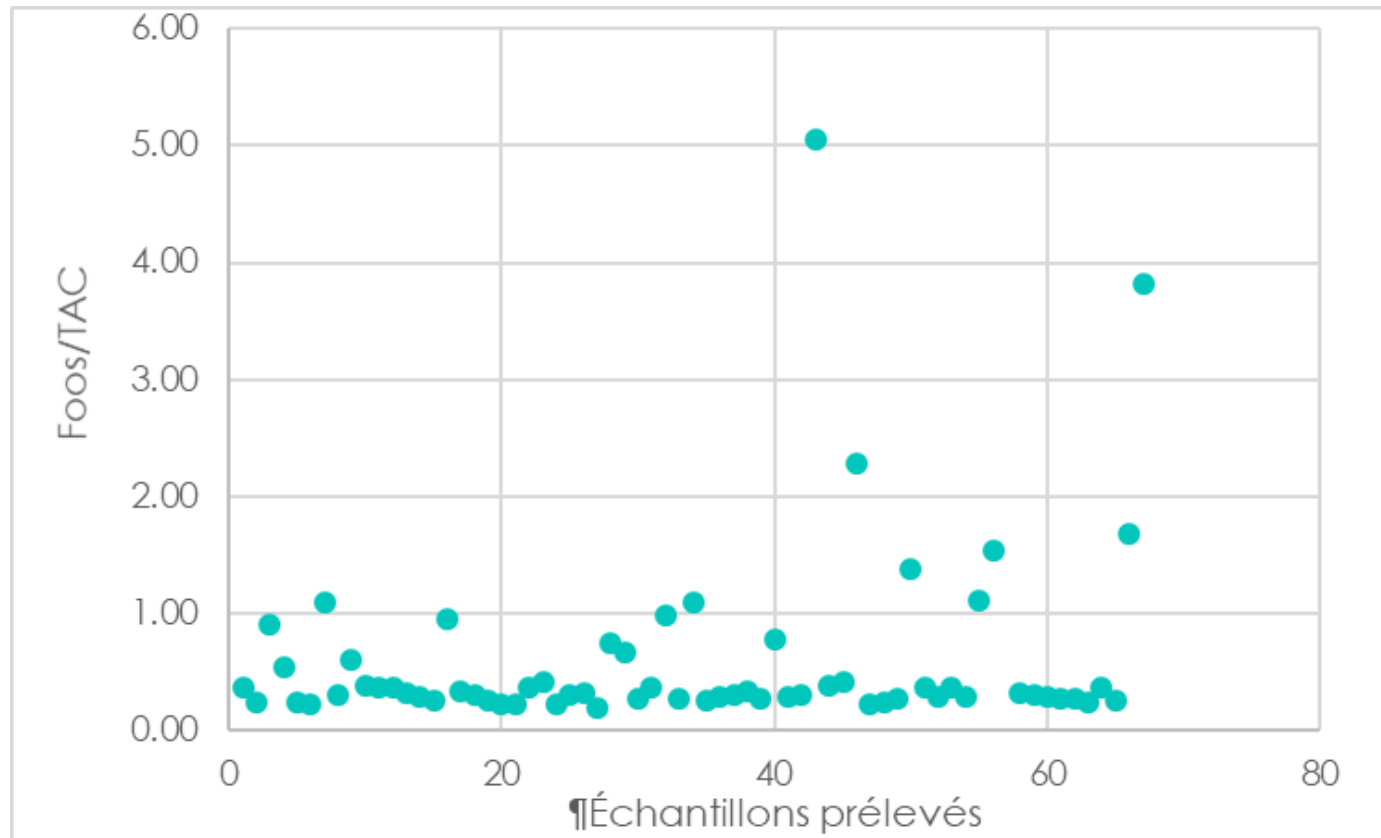
✓ Bactéries filamenteuses = réduit drainage



➤ Matlamousse-Suivi des installations

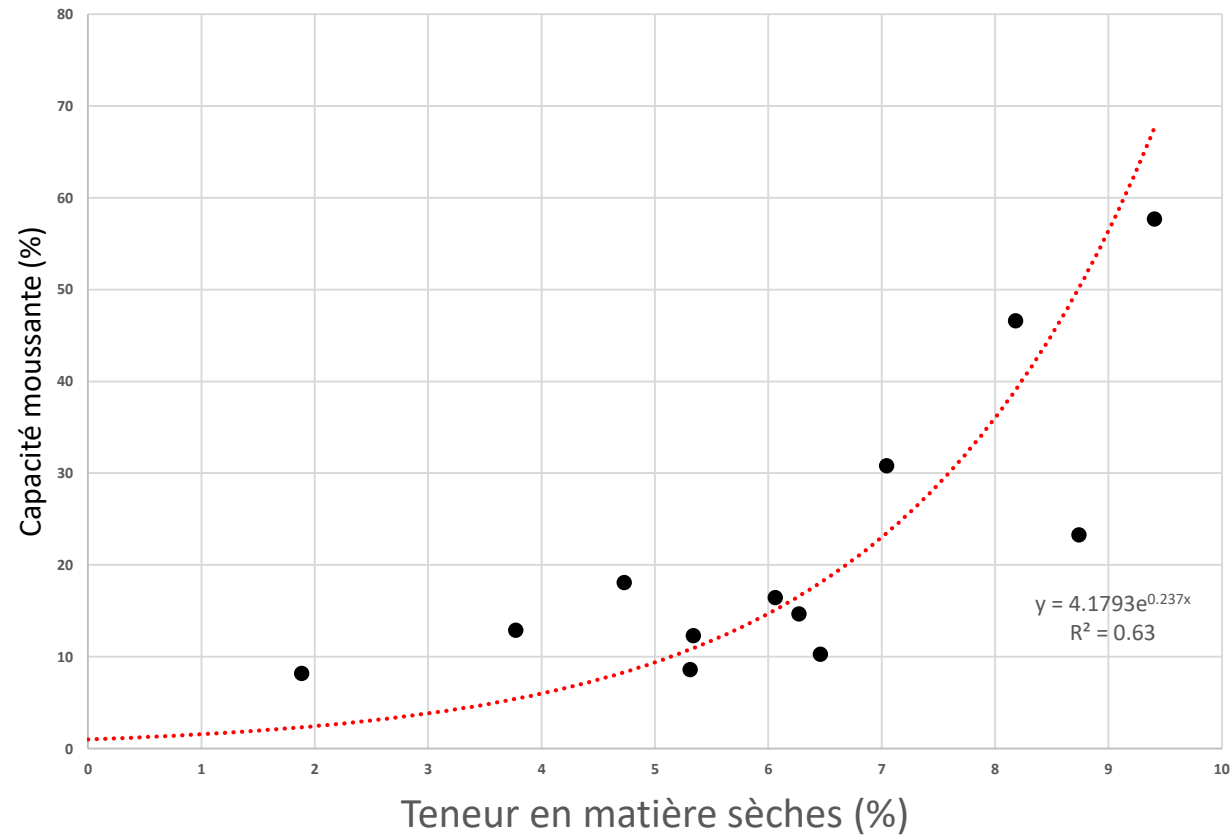
Résultats

- 72 échantillons
- 52 caractérisés pour la microbio



➤ Matlamousse-Suivi des installations

Résultats – CM des digestats



- digestat est chargé en matières sèches, plus apparition de mousse

➤ Matlamousse-Suivi des installations
Résultats - CM des substrats



Matrice base	Capacité moussante %	Matrice base	Capacité moussante %	Matrice base	Capacité moussante %
Maïs ensilé	19	Fumier bovin	35	Pulpes de betteraves	113
Maïs ensilé	19	Jus de silo	34	Lies de vin	103
Fosse pré-mélange	18	Lisier bovin	34	Graisse flottaison	76
Issues de silos n°2	17	Issues de silos2	33	Marc de café	71
Pâte de neutralisation	16	Seigle ensilé t=6 semaines	33	Cive seigle	70
Fumier de Vaches	15	Orge (silo 2) frais coupé du jour	33	Purée fruits distilles	69
Fumier de Chèvres	14	Fumier bovin	32	Matières stercoraires	54
Céréales	13	Ensilage herbe	32	Déchets de céréales	54
Graisse flottaison	13	Pulpes de betteraves	31	Vinasse fruits	49
Lisier	13	Fosse jus de silos/plateforme	29	Ensilage maïs	47
Lisier porc	11	Pate neutralisation	28	Fumier bovin	47
Pate neutralisation	11	Fumier bovin	28	Soupe de déconditionnement	46
Fumier bovin	11	Seigle forestier ensilé t=1 semaine	27	Cive orge silo(5 semaines)	46
Lisier engraissement porcs	10	Seigle ensilé t=4 semaines	27	Betteraves blanches entières	43
Boue abattoir	8	Lisier porc	26	Déchets blé noir, céréales/ menue paille	43
Menue paille	8	Fumier canards	26	Issues de silos n°1	41
		Fumier volaille	24	Cive orge (silo 2) ensile 3 semaines	41
		Déchets aliments bétail	24	Cive seigle	40
		Préfosse lisier/jus et eau de puits	24	Maïs ensilage	40
		Lisier bovin+porcin	23	Pate neutralisation	40
		Pate neutralisation	22	Seigle "etincel" ensile (1 an d'age)	40
		Maïs ensilage	21	Issues de silos1	39
				Seigle ensile t=2 semaines	39
				Orge frais (silo 1)	39
				Seigle ensilage	38
				Seigle forestier frais	38
				Lisier bovin	38
				Lisier bovin + eau blanche	38
				Orge (silo 2) ensile 1 semaine	37
				Orge (silo 1) ensile 2 semaines	37

➤ Matlamousse-Suivi des installations

Résultats – IF des liquides

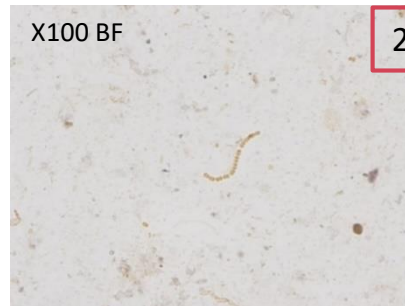
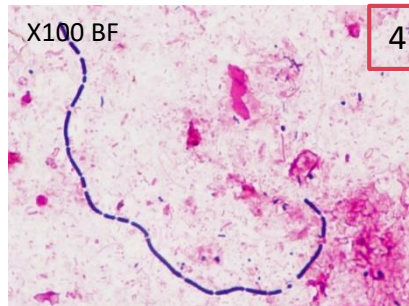
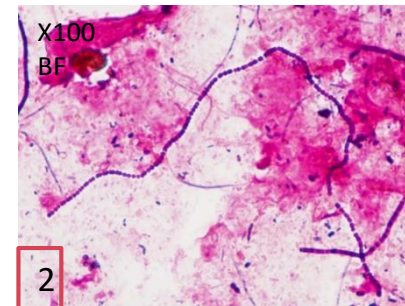
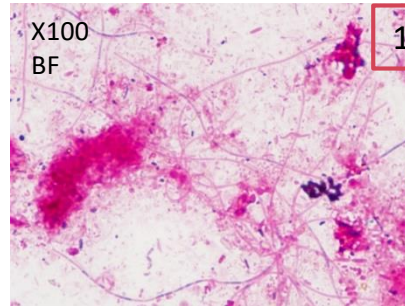
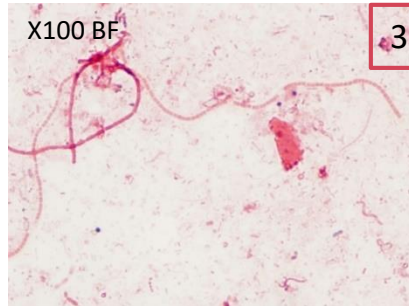
Exemples d'observations

- Lisier de porcs
- Dilution 1/2

IF 4 = very frequent

5 à 20 filament/ field

4 b-fila différents

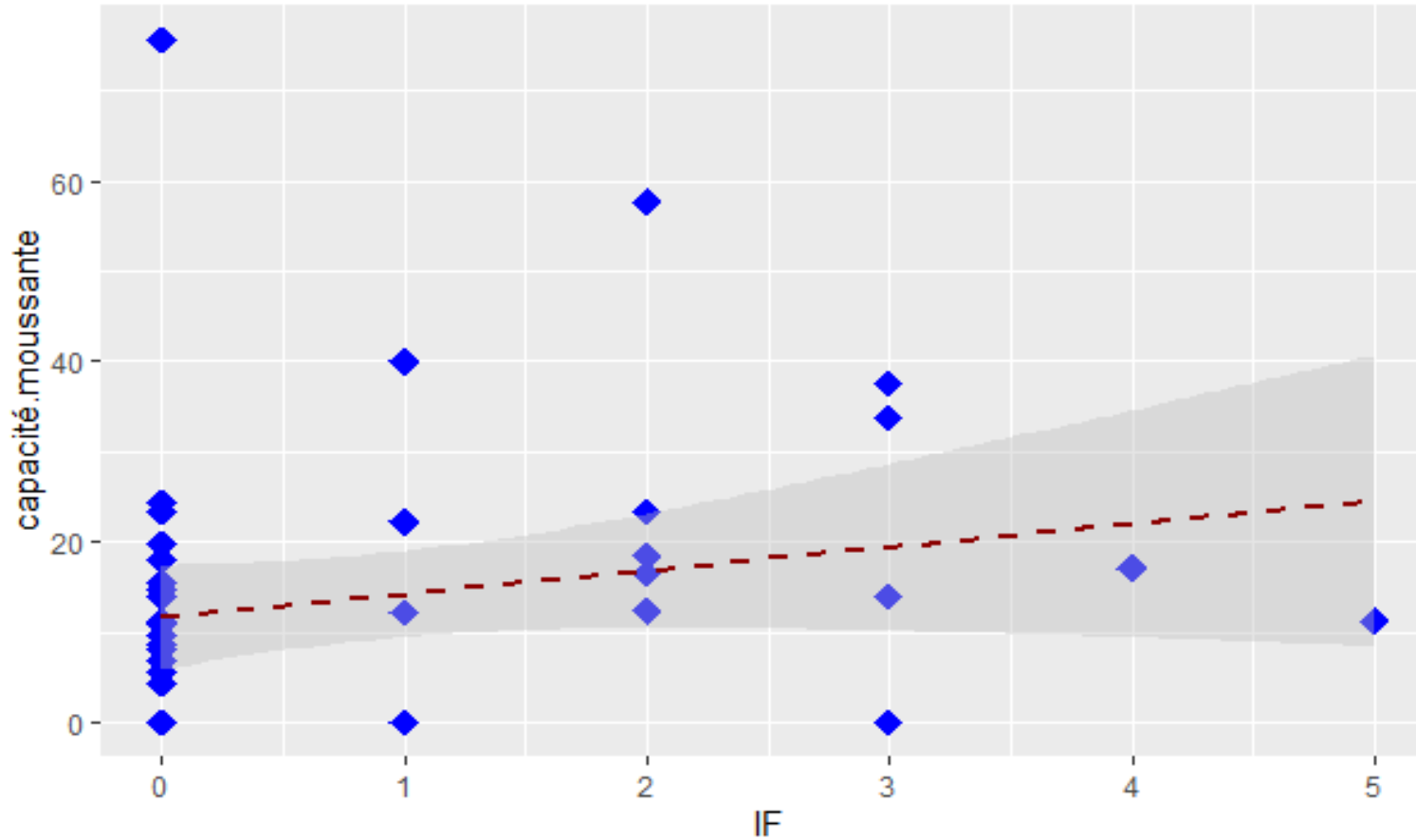


- 1 : 0,5 μ m diamètres et >200 μ m de long
- 2 : 1,89 μ m diamètre et >200 μ m de long
- 3 : 1,35 μ m diamètre et <200 μ m de long
- 4 : 1,78 μ m diamètre et <200 μ m de long



Matlamousse-Suivi des installations

Résultats – IF des liquides vs lien avec la CM



➤ CM \Leftrightarrow IF = \emptyset



Matlamousse-Suivi des installations

Conclusions

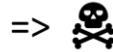
- Impact de le MS du digestats
- Substrats avec une CM importantes
- Pas de lien entre les bactéries filamenteuse et les mousse ≠ STEP

MATLA MOUSSE

Substrats

Exploitation

Ponctuel + Stable



Substrats riches en sucres/polysaccharides !

Bien gérer l'exploitation (ajout, surverse, brassage...)

Perspectives : proposer un outil simple (LFA) pour les agri afin de tester se focaliser sur certains substrats (ensilages CIVEs)
Viscosité vs. CM

Pascal.peu@inrae.fr

Catégorie 1 (<20%)		Catégorie 2 (20-35%)		Catégorie 3 (>35%)	
Matrice base	Capacité moussante%	Matrice base	Capacité moussante %	Matrice base	Capacité moussante %
Mais ensilé	19	Fumier bovin	35	Fumier bovin	113
Mais ensilé	19	Jus de silo	34	Lin de vin	103
Fosse pré-mélange	18	Lisier bovin	34	Graisse flottaison	76
Issues de silos n°2	17	Issues de silos2	33	Marc de café	71
Pâte de courbut abattoir	16	Seigle ensilé 1-6 semaines	33	Cive seigle	70
Fumier de Vaches	15	Orge (silo 2) frais coupé du jour	33	Purée fruits distillés	69
Fumier de Chèvres	14	Fumier bovin	32	Matières stercoraires	54
Céréales	13	Ensilage herbe	32	Déchets de céréales	54
Graisse flottaison	13	Pâtés de betteraves	31	Vinaïsse fruits	49
Lisier	13	Fosse jus de silos/plateforme	29	Ensilage maïs	47
Lisier porc	11	Pâte neutralisation	28	Fumier bovin	47
Pâte neutralisation	11	Fumier bovin	28	Soupe de déconditionnement	46
Fumier bovin	11	Seigle forestier ensilé 1-1 semaine	27	Cive orge-silo(5 semaines)	46
Lisier engraissement porcs	10	Seigle ensilé 1-4 semaines	27	Betteraves blanches entières	43
Boue abattoir	8	Lisier porc	26	Déchets B&B noir, céréales/ menuis paille	43
Menue paille	8	Fumier canards	26	Issues de silos n°1	41
		Fumier vachelle	24	Cive orge (silo 2) ensilé 3 semaines	41
		Déchets aliments biftail	24	Cive seigle	40
		Pré-fosse lisier/jus et eau de puits	24	Maïs ensilage	40
		Lisier bovin/porcin	23	Pâte neutralisation	40
		Pâte neutralisation	22	Seigle "silico" ensilé (1 an d'âge)	40
		Maïs ensilage	21	Issues de silos1	39
				Seigle ensilé 1-2 semaines	39
				Orge frais (silo 1)	39
				Seigle ensilage	38
				Seigle forestier frais	38
				Lisier bovin	38
				Lisier bovin + eau blanche	38
				Orge (silo 2) ensilé 1 semaine	37
				Orge (silo 1) ensilé 2 semaines	37



SAVE THE DATE !!

JRI
2024



26 - 28 mars 2024 **PAU**

JOURNÉES RECHERCHE INNOVATION

