



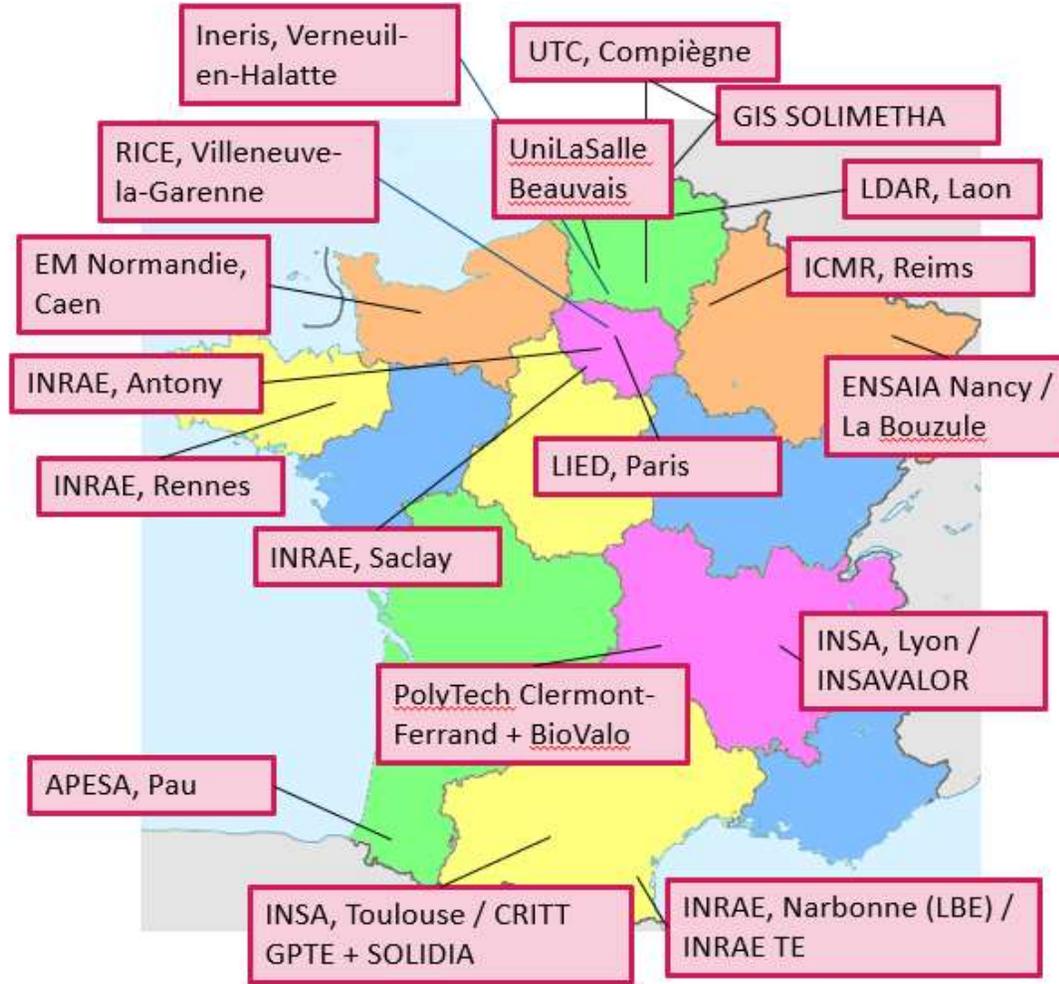
FLEXIMETHA :

Flexibilisation de la production de biométhane pour répondre aux contraintes du réseau

Sébastien Pommier – INSA Toulouse
Simon Métivier - SOLAGRO

04/12/2023

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>

FLEXIMETHA

Flexibilisation de la production de biométhane
pour répondre aux contraintes du réseau

Sébastien Pommier – INSA Toulouse

Simon Métivier – SOLAGRO



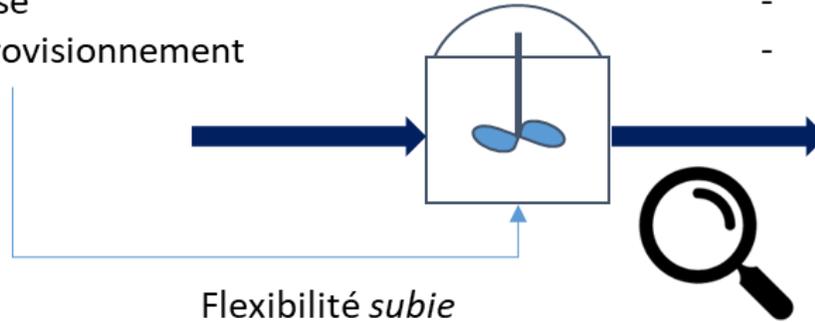
Flexibilité *recherchée*

Intrants

- Composition de l'alimentation
- Charge admise
- Arrêts d'approvisionnement

Réseaux

- Adaptation aux usages
- Modulation selon marchés « spot »
- Besoins en surproduction/effacement



Quelles conditions pour un changement de paradigme sur la stratégie d'alimentation des digesteurs ?



Comportement des consortiums microbiens face à ces variations de charge

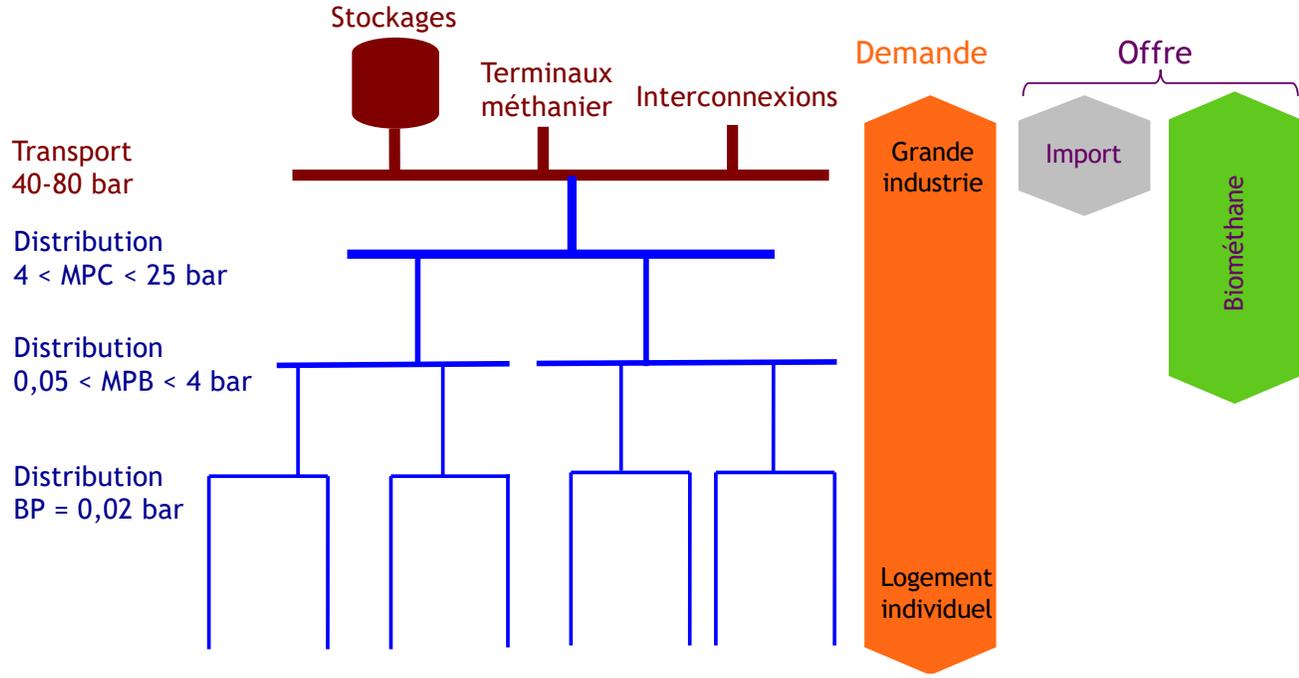
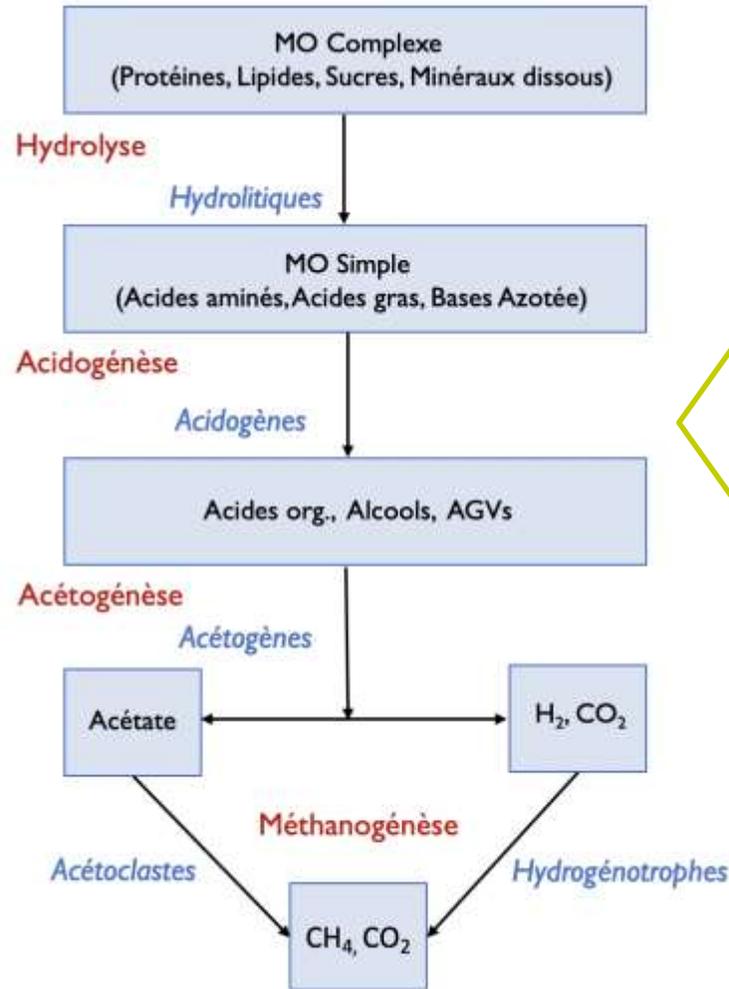


Dimensionnement et conduite des procédés



Business plan des installations

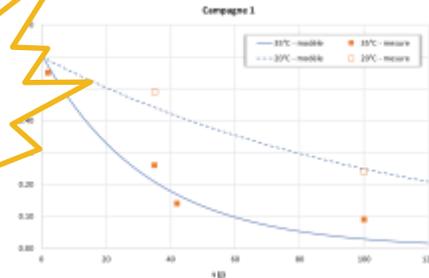




SUIVI DE CAS PILOTE



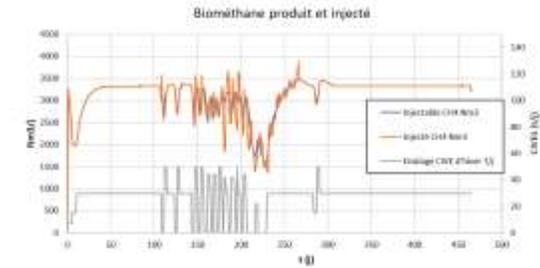
TESTS LABORATOIRE



**Vu aux
JRI 2022**

Données sur la désactivation biologique en cas de famine ou de sous-charge

MODELISATION



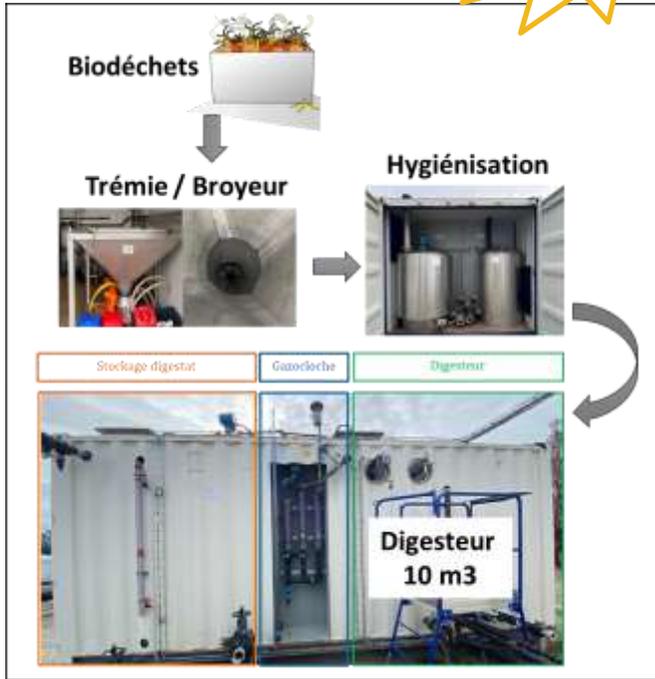
Outil de calcul numérique permettant la simulation dynamique d'une installation de méthanisation avec injection de biométhane



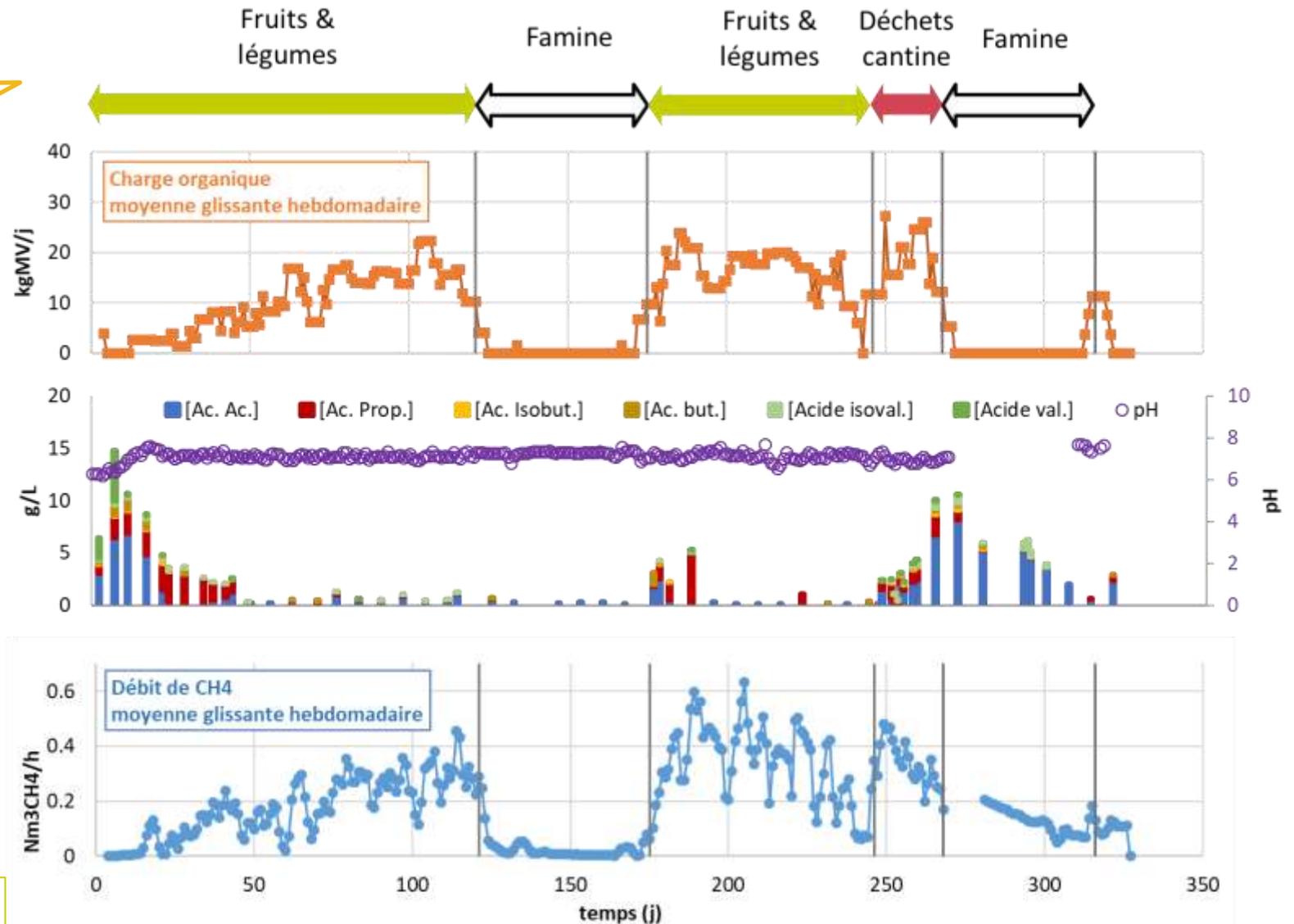
ETUDE DE CAS

SUIVI DE CAS PILOTE

Vu aux JRI 2022

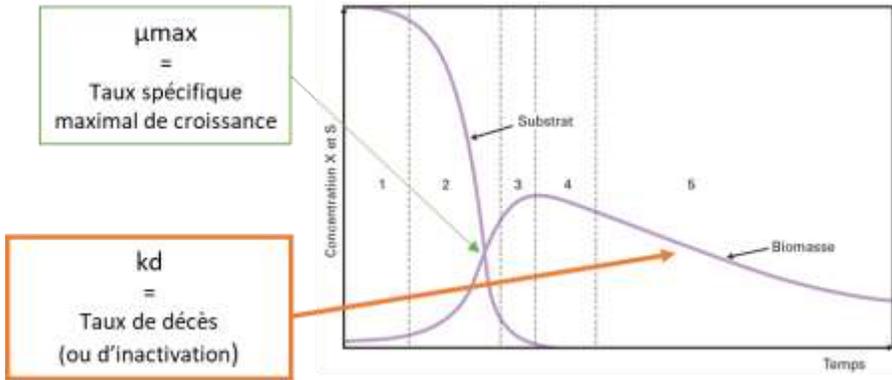


Reprise après famine = risques d'acidose



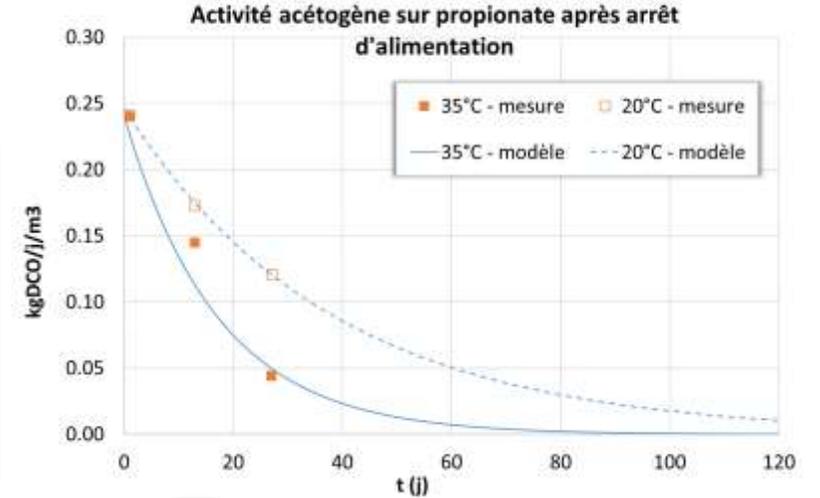


Quantification de la désactivation biologique en cas de famine ou de sous-charge

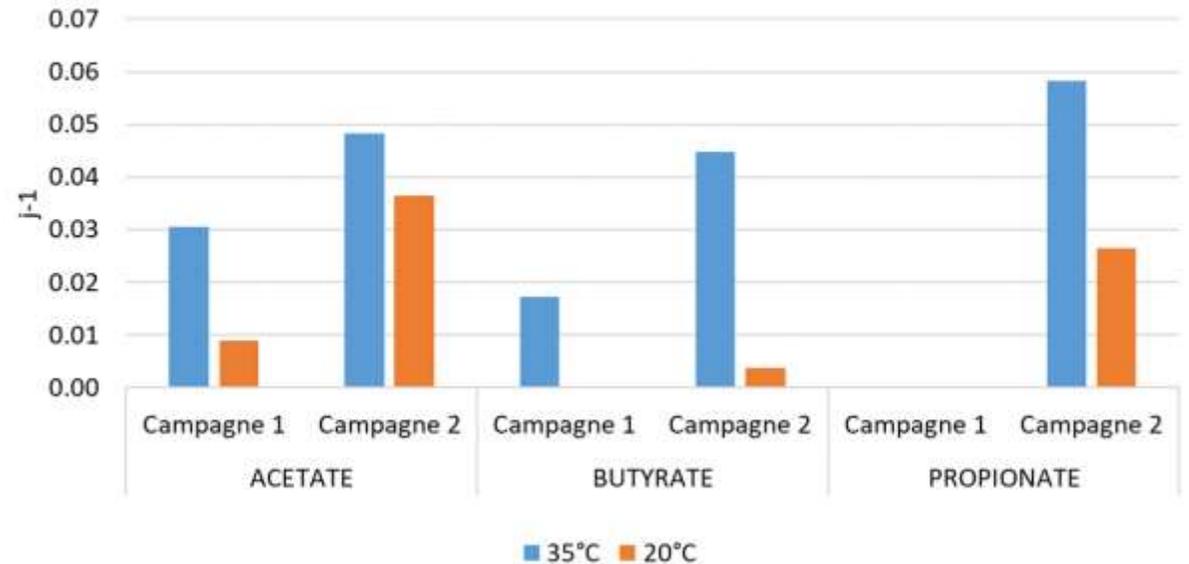


Constantes de désactivation à réévaluer à la hausse par rapport à la littérature

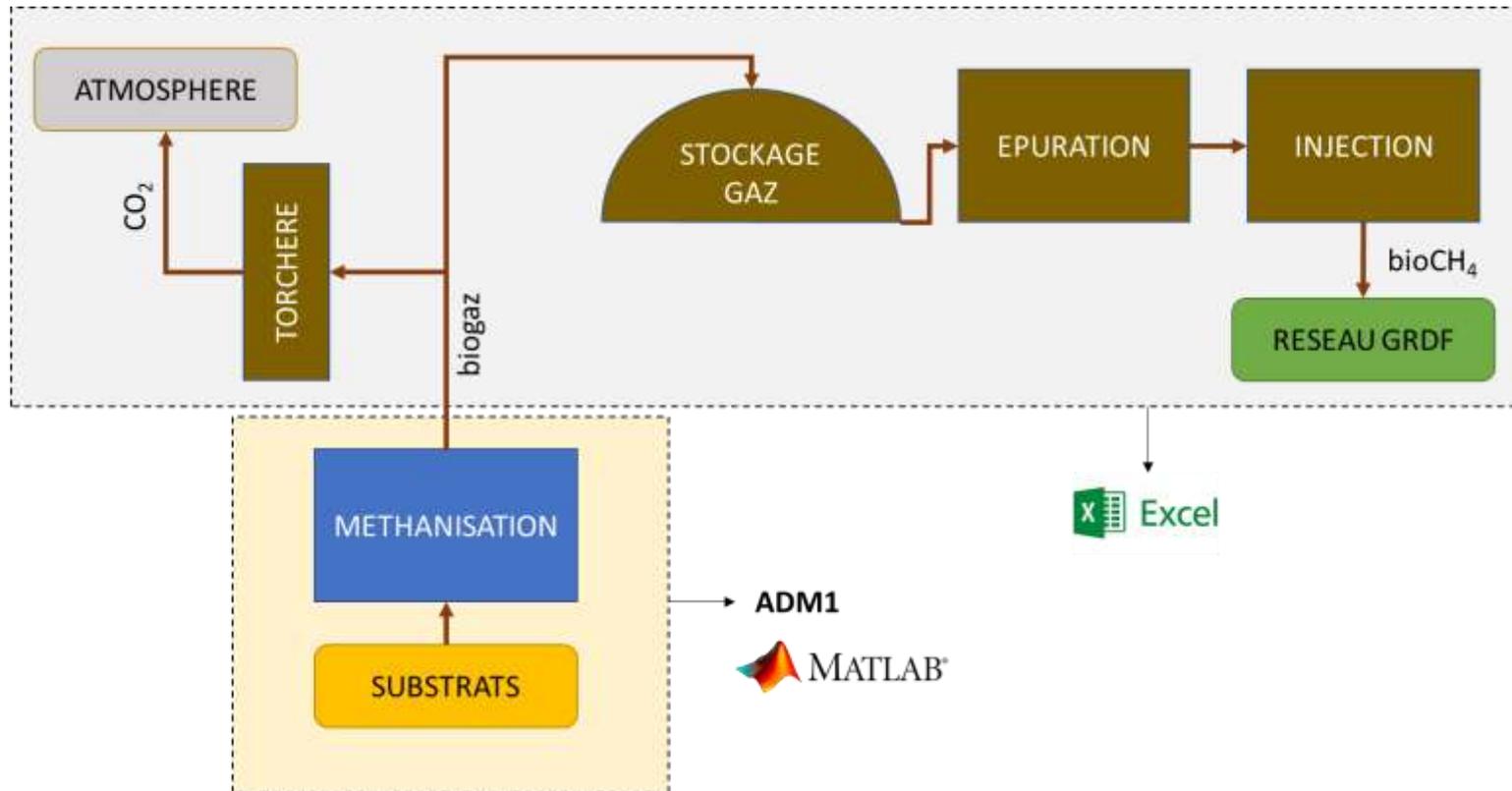
Tests d'activité spécifique



Constantes de perte d'activité spécifique

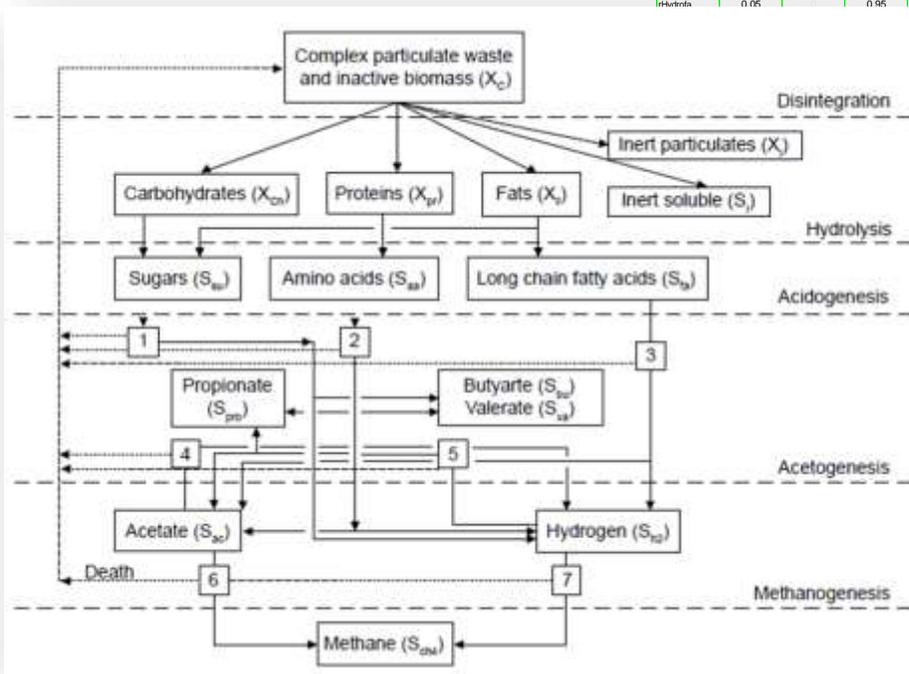


MODELISATION



	Ssu	Saa	Sfa	Sva	Sbu	Spro	Sac	Ss
	kgCOD m-3							
rDes	0.2	0.2	0.3	0	0	0	0	0
rHydrohc	1	0	0	0	0	0	0	0
rHydropt	0	1	0	0	0	0	0	0
rHydrofa	0.05	0	0.95	0	0	0	0	0
rHydrohc	1	0	0	0	0	0	0	0
rHydropt	0	1	0	0	0	0	0	0
rHydrofa	0.05	0	0.95	0	0	0	0	0

	Ssu	Saa	Sfa	Sva	Sbu	Ss
	kgCOD m-3					
rDes	0.2	0.2	0.3	0	0	0
rHydrohc	1	0	0	0	0	0
rHydropt	0	1	0	0	0	0
rHydrofa	0.05	0	0.95	0	0	0
rHydrohc	1	0	0	0	0	0
rHydropt	0	1	0	0	0	0
rHydrofa	0.05	0	0.95	0	0	0
rSglu	-1	0	0	0	0.1125	0
rSaa	0	-1	0	0.2116	0.2392	0
rSfa	0	0	-1	0	0	0



	0.2116	0.1125	0.21	0.39	0.1
	-1	0.2392	0.046	0.368	0.0
			0.5076	0.658	0.2
				0.2914	0.1
				0.752	0.1
				0.5472	0.4
				-1	0

Vitesse réactionnelle
 $gCOD\ m^{-3}\ d^{-1},\ Mol\ m^{-3}\ d^{-2}$

$f_{ph_bac}^{fi_ni}$
 $a) f_{ph_bac}^{fi_ni}$
 $f_{ph_bac}^{fi_ni}$
 $a) f_{ph_bac}^{fi_ni}$
 $sbu) f_{ph_bac}^{fi_ni}$
 $+Spro) f_{ph_bac}^{fi_ni}$
 $ac) f_{ph_me_ac}^{fnh3_me_ac}^{fi_ni}$
 $h2) f_{ph_me_h2}^{fi_ni}$

$r_{dec,XSu} = k_{dec_Xsu} X_{su}$
 $r_{dec,XAA} = k_{dec_Xaa} X_{aa}$
 $r_{dec,XFa} = k_{dec_Xfa} X_{fa}$
 $r_{dec,XBu} = k_{dec_Xc4} X_{c4}$
 $r_{dec,XPro} = k_{dec_Xpro} X_{pro}$
 $r_{dec,XAc} = k_{dec_Xac} X_{ac}$
 $r_{dec,XH2} = k_{dec_Xh2} X_{h2}$
 $r_{T,co2} = k_{La}(S_{co2}-16^{*}kh_{co2}) P_{gas_co2}$
 $r_{T,h2} = k_{La}(S_{h2}-16^{*}kh_{h2}) P_{gas_h2}$
 $r_{T,ch4} = k_{La}(S_{ch4}-64^{*}kh_{ch4}) P_{gas_ch4}$
 $r_{T,nh3} = k_{La}(S_{nh3}-16^{*}kh_{nh3}) P_{gas_nh3}$

	Vitesse réactionnelle $gCOD\ m^{-3}\ d^{-1},\ Mol\ m^{-3}\ d^{-2}$
rDes	$r_{dis} = k_{dis} X_c$
rHydrohc	$r_{hyd_RB,CH} = k_{hyd_RB_ch} X_{ch_RB} fh_{2o}$
rHydropt	$r_{hyd_RB,Pr} = k_{hyd_RB_pr} X_{pr_RB} fh_{2o}$
rHydrofa	$r_{hyd_RB,Li} = k_{hyd_RB_li} X_{li_RB} fh_{2o}$
rHydrohc	$r_{hyd_SB,CH} = k_{hyd_SB_ch} X_{ch_SB} fh_{2o}$
rHydropt	$r_{hyd_SB,Pr} = k_{hyd_SB_pr} X_{pr_SB} fh_{2o}$
rHydrofa	$r_{hyd_SB,Li} = k_{hyd_SB_li} X_{li_SB} fh_{2o}$
rSglu	$r_{fe,Su} = k_{m_fe_su} X_{su} S_{su} / (k_{s_su} + S_{su}) f_{ph_bac}^{fi_ni}$
rSaa	$r_{fe,AA} = k_{m_fe_aa} X_{aa} S_{aa} / (k_{s_aa} + S_{aa}) f_{ph_bac}^{fi_ni}$
rSfa	$r_{fe,FA} = k_{m_fe_fa} X_{fa} S_{fa} / (k_{s_fa} + S_{fa}) f_{ph_bac}^{fi_ni}$

Paramètres cinétiques

k_m_dis	0.20	d-1
k_m_hydch_S	0.07	d-1
k_m_hydpr_S	0.07	d-1
k_m_hydli_S	0.07	d-1
k_m_hydch_M	0.20	d-1
k_m_hydpr_M	0.20	d-1
k_m_hydli_M	0.20	d-1
k_m_su	30.0	DCO.DCO-1.d-1
Ks_su	5.00E-01	KgDCO.m-3
k_m_aa	50.0	DCO.DCO-1.d-1
Ks_aa	3.00E-01	KgDCO.m-3
k_m_fa	6.00	DCO.DCO-1.d-1
Ks_fa	4.00E-01	KgDCO.m-3
k_m_c4	20.0	DCO.DCO-1.d-1
Ks_va	3.00E-01	KgDCO.m-3
Ks_bu	2.00E-01	KgDCO.m-3
k_m_pro	10.00	DCO.DCO-1.d-1
Ks_pro	3.00E-01	KgDCO.m-3
k_m_ac	2.00	DCO.DCO-1.d-1
Ks_ac	1.50E-01	KgDCO.m-3
k_m_h2	35.00	DCO.DCO-1.d-1
Ks_h2	7.00E-06	KgDCO.m-3
Ks_co2	1.00E-01	KgDCO.m-3
k_dec_Xglu	0.020	d-1
k_dec_Xaa	0.020	d-1
k_dec_Xfa	0.020	d-1
k_dec_Xc4	0.045	d-1
k_dec_Xpro	0.066	d-1
k_dec_Xac	0.048	d-1
k_dec_Xh2	0.020	d-1
kLa	10.00	d-1
pHII_aa	4.00	-
pHul_aa	5.50	-
pHII_ac	6.00	-
pHul_ac	7.00	-
pHII_h2	5.00	-
pHul_h2	6.00	-
Ks_in	2.00E-04	kmol N.m-3
Ki_h2_fa	5.00E-06	KgDCO.m-3
Ki_h2_c4	1.00E-05	KgDCO.m-3
Ki_h2_pro	1.00E-06	KgDCO.m-3
Ki_nh3	3.00E-02	kmol N.m-3

Paramètres physico-chimiques

Ka_ac	1.74E-05	M
Ka_co2	4.73E-07	M
Kw	2.06E-14	M
Kh_co2	2.58E-02	M/bar
Kh_h2	7.29E-04	M/bar
Kh_ch4	1.15E-03	M/bar
Ka_nh4	1.09E-09	M
Ka_pro	1.32E-05	M
Ka_bu	1.51E-05	M
Ka_va	1.38E-05	M
Ka_lac	7.94E-05	M

Composition substrats

	MS	MV	DCO	Norg	BMP
	%	%	gDCO/gM _S	gN/gMS	NmL/gMS
Fumier bovin compact	24.9%	80.9%	1.50	0.02200	166.3
Lisier Bovin	9.4%	79.6%	1.50	0.02200	173.3
Ensilage CIVE d'hiver	25.0%	90.0%	1.40	0.00900	287.7
Paille de céréales	87.5%	88.8%	1.40	0.00560	195.4
Fiente volaille	57.6%	73.0%	1.40	0.03100	209.7
Eau	0.0%	0.0%	0.00	0.00000	0.0

Programme d'alimentation

t	Fumier bovin compact	Lisier Bovin	Ensilage CIVE d'hiver	Paille de céréales	Fiente volaille	Eau
jours	T/j	T/j	T/j	T/j	T/j	T/j
0	3.45	3.45	9.19	0.43	1.28	1.06
5	3.45	3.45	9.19	0.43	1.28	1.06
10	6.90	6.90	18.39	0.85	2.55	2.13
50	13.80	13.80	36.78	1.70	5.11	4.25
108	13.80	13.80	36.78	1.70	5.11	4.25
111	13.80	13.80	0.00	1.70	5.11	4.25

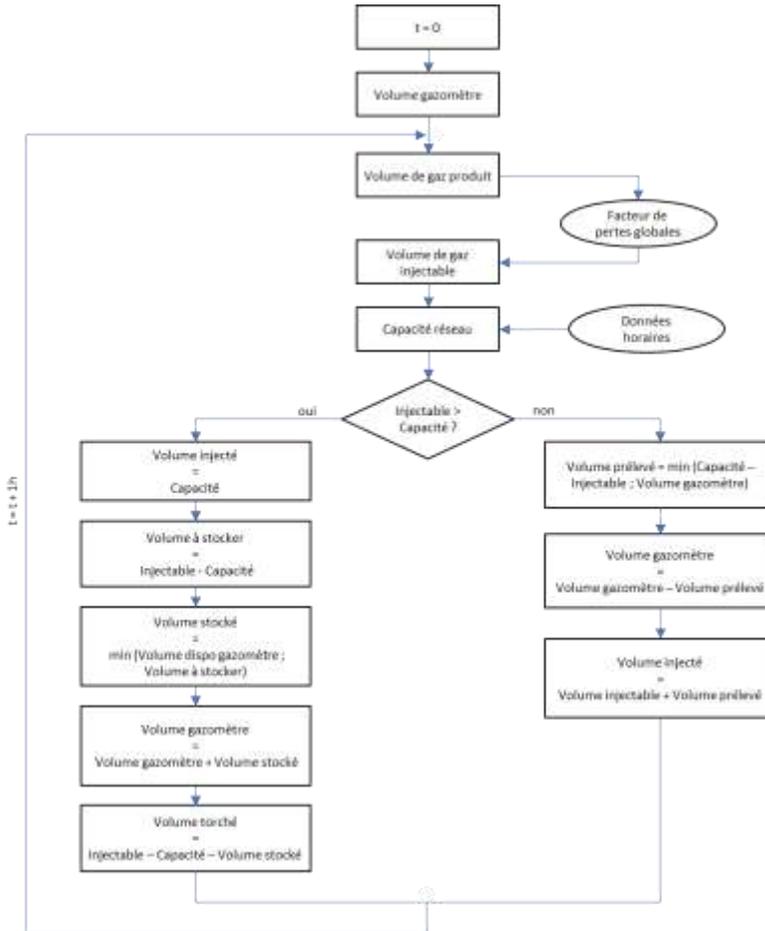
Cinétiques de production de biogaz simulées

ADM1

Volume gazomètre

Performances épurateur

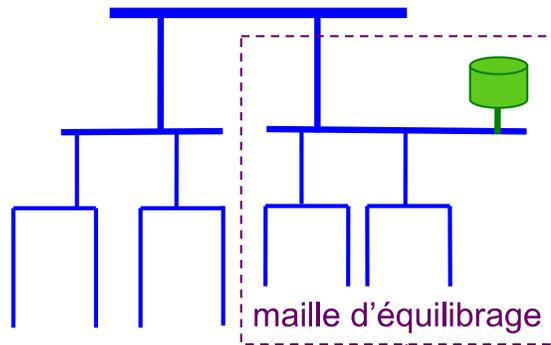
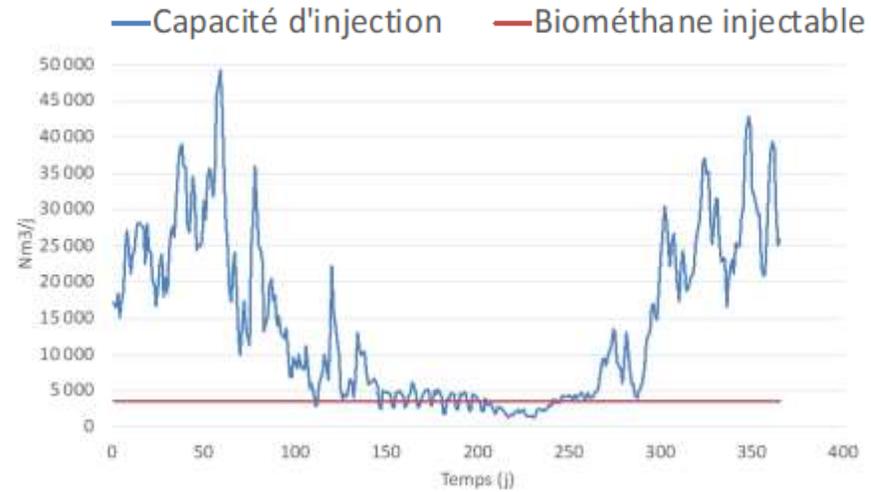
Capacités d'injection du réseau



Calcul des quantités de gaz injectées, torchées et stockées dans le gazomètre
Pas de temps = 1 heure

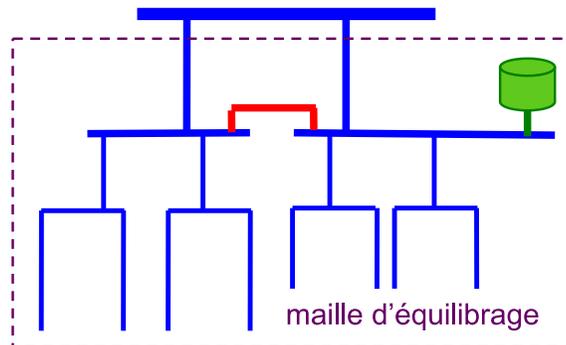


Problématique réseaux



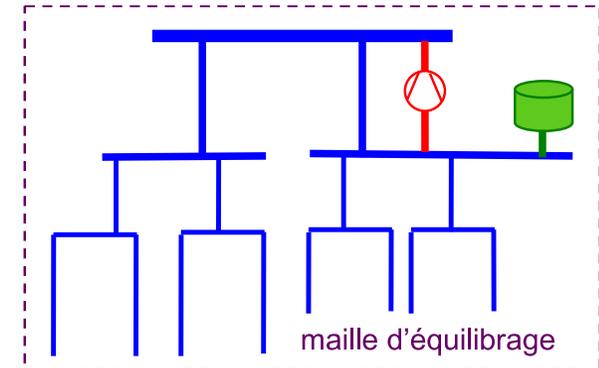
Injection <= Consommation

Maillage

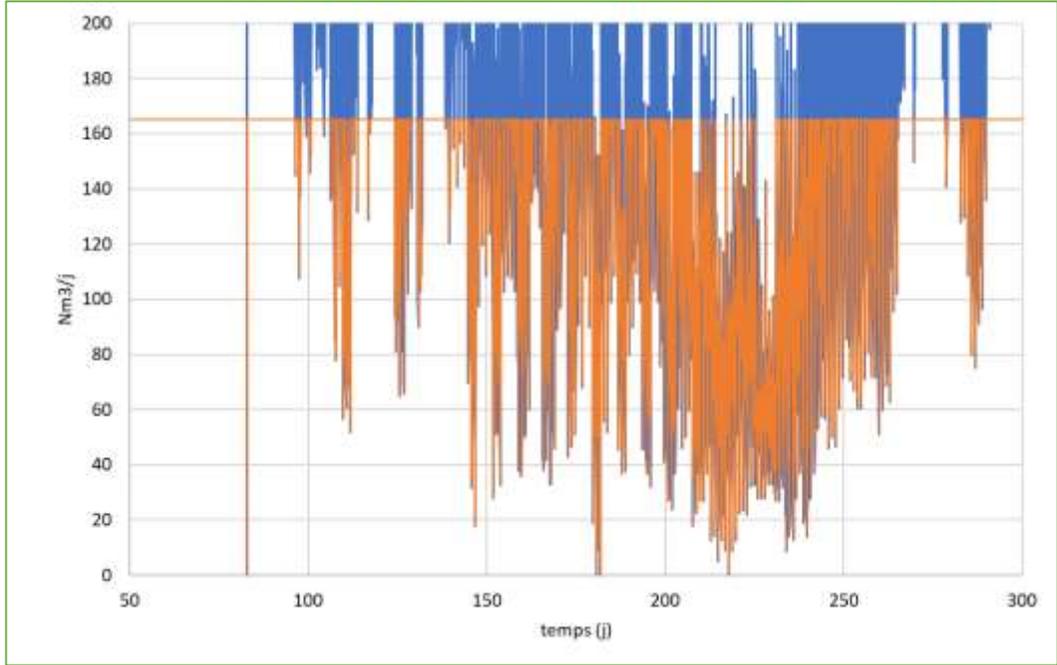
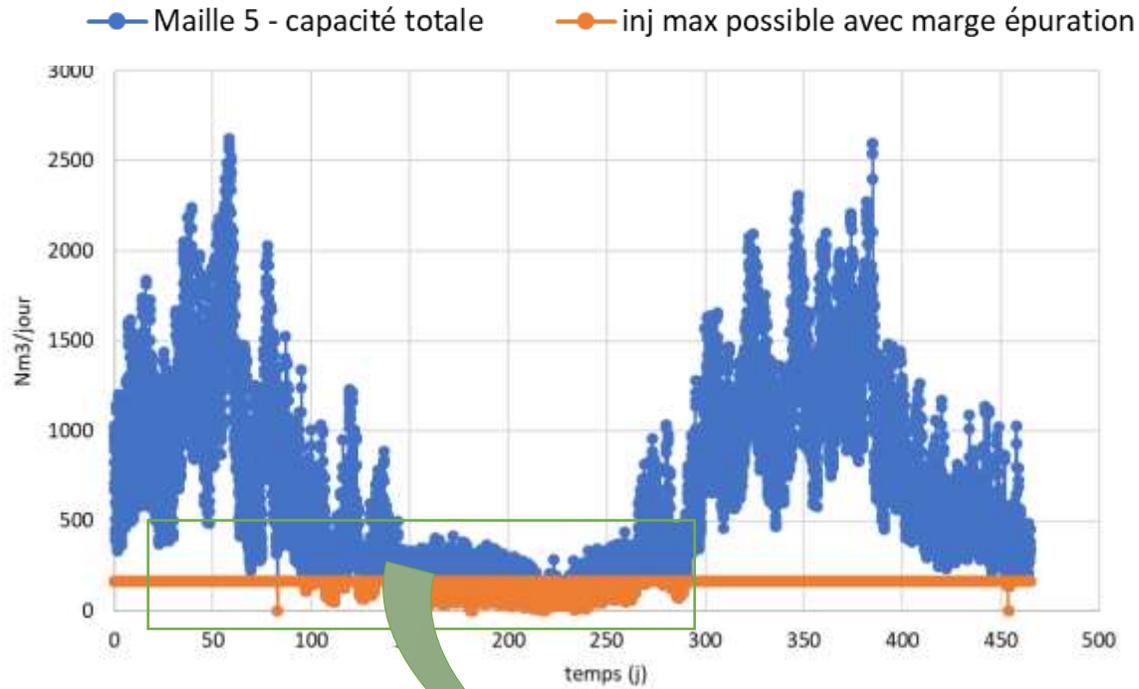


Injection > Consommation

Rebours



Maille considérée



Production > capacité maille sur plusieurs périodes

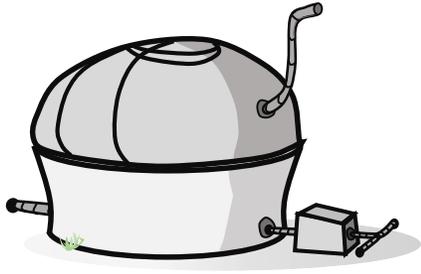
Cas d'unité de méthanisation étudié



Type de substrat	Gisement réel (tMB/an)
Eau de pluie	1 250
Fumier bovin compact	4 050
Lisier Bovin	4 050
Ensilage CIVE d'hiver	10 800
Paille de céréales	500
Fiente volaille	1 500
Total	22 150

→ **Substrat pivot pour la flexibilisation**

Cas d'unité de méthanisation étudié



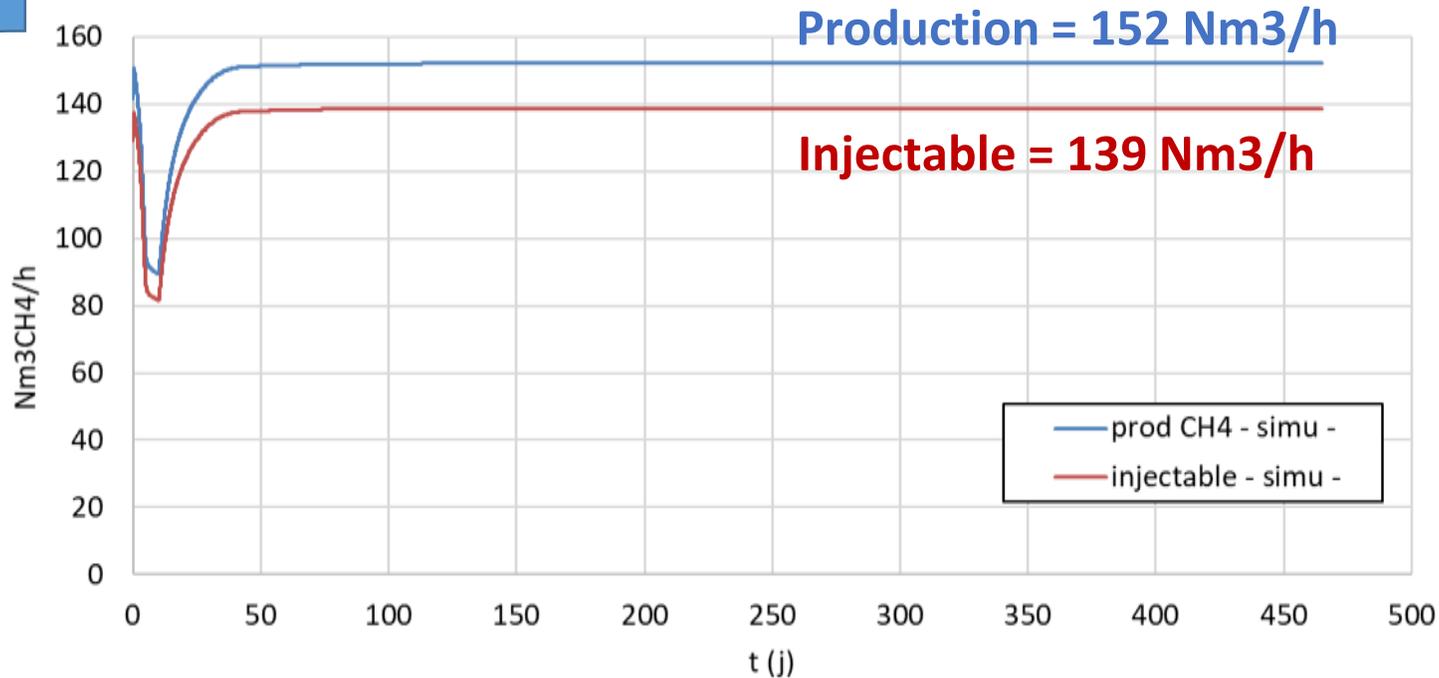
Gazomètre : 1200 m³ (8h de stockage)

Digesteur : 4250 m³

Temps de séjour = 70 jours

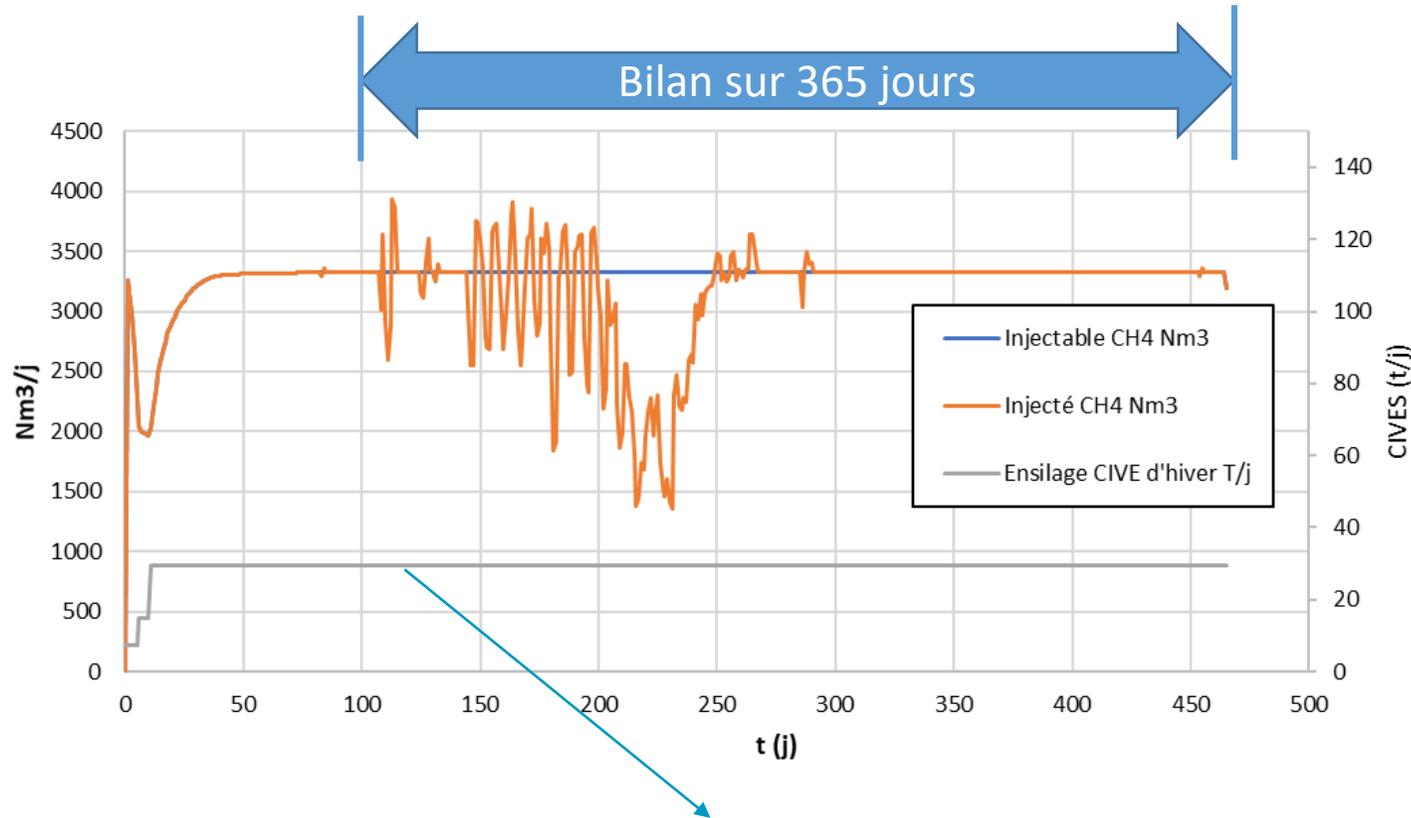
Taux de disponibilité du CH₄ pour injection = 91,2%

Simulation
capacité initiale



Dimensionnement
poste d'injection
= +10% / production
= 165 Nm³/h

Approche pour analyser des scénarios flexibles



Performances

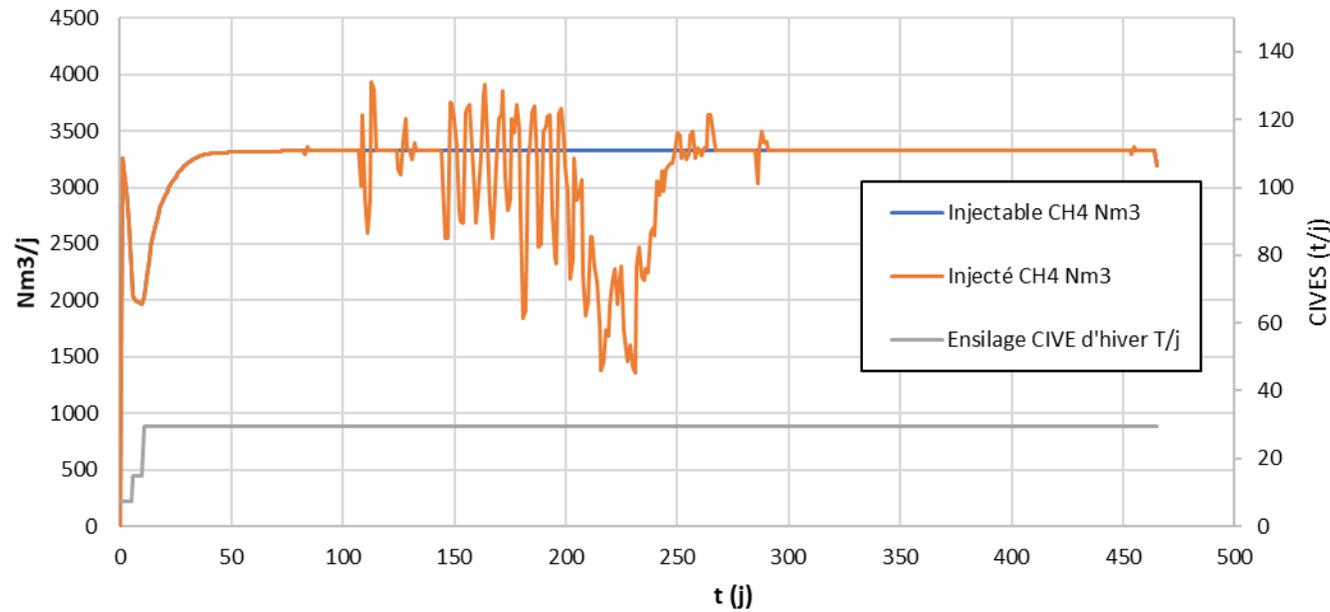
Production injectable	Injection réalisée	Torché
<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>

Adaptation du tonnage d'ENSILAGE CIVE pour ajuster production à demande réseau

Simulation
Test 0 : production constante

Scénario de base : on maintient la production constante, même pendant les périodes d'injection restreinte

Biométhane produit et injecté

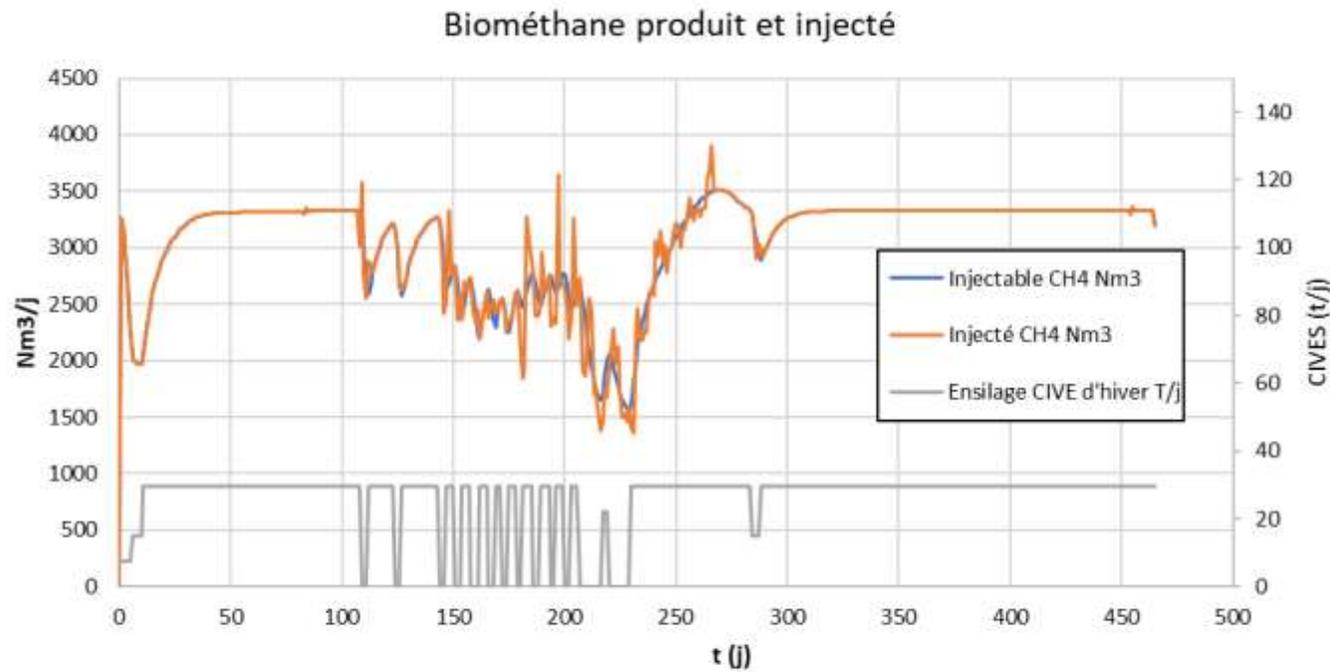


Production injectable	Injecté	Perdu
<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>
1 218 006	1 162 417	55 589

Pertes = 4,6% en torchère

Simulation
Test 5 : effacement

On cesse d'alimenter en CIVES la veille des jours où il y a un besoin d'effacement



Production injectable	Injecté	Perdu
<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>
1 109 950	1 108 875	1 075

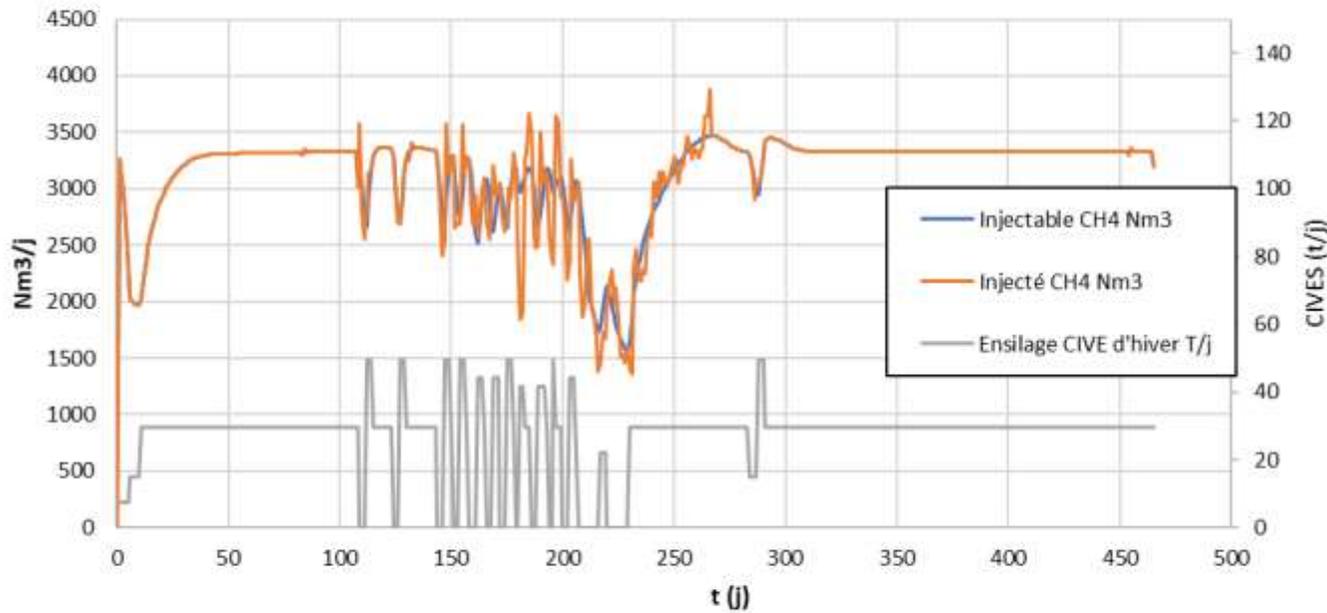
Pertes = 0,1% en torchère

Simulation

Test 6 : effacement + surcharge

On cesse d'alimenter en CIVES la veille des jours où il y a un besoin d'effacement et on applique une surcharge les 2 premiers jours après l'effacement, lorsque l'injection maximale redevient possible

Biométhane produit et injecté



Production injectable	Injecté	Perdu
<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>
1 148 278	1 142 646	5 632

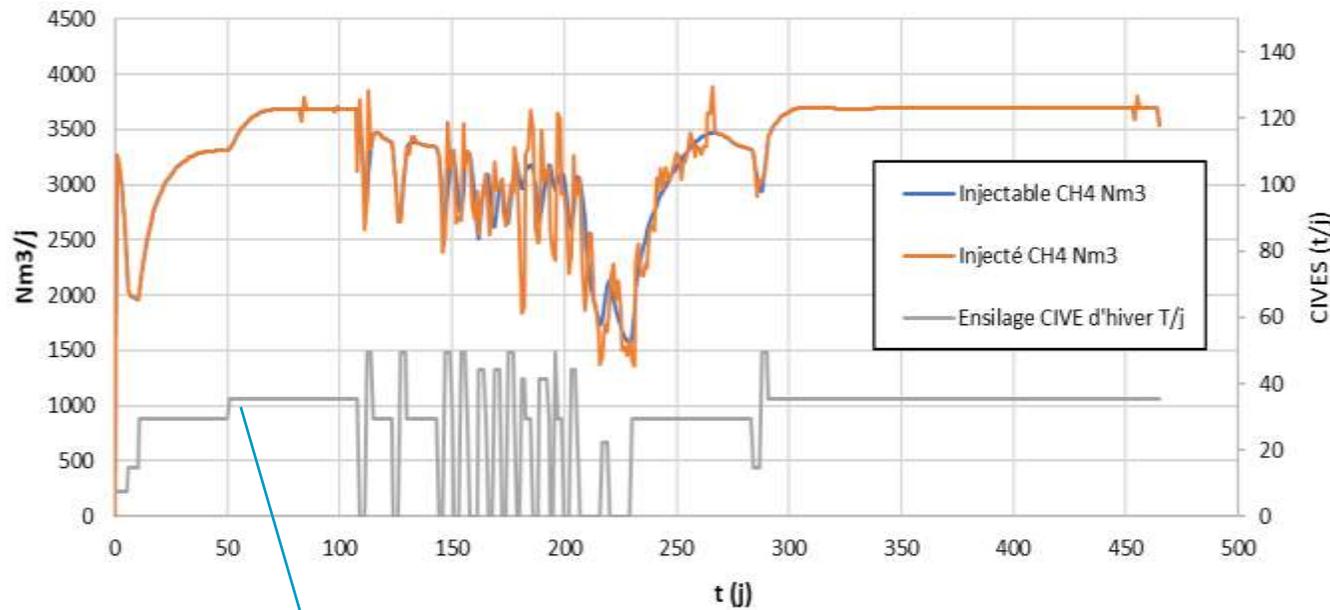
Pertes = 0,5% en torchère

Simulation

Test 7 : effacement + surcharge + CIVES annuelles maintenues

On cesse d'alimenter en CIVES la veille des jours où il y a un besoin d'effacement et on applique une surcharge les 2 premiers jours après l'effacement, lorsque l'injection maximale redevient possible
On répartit la quantité de CIVES manquant sur les périodes hivernales pour avoir le tonnage du cas de base sur la période de fonctionnement à injection max

Biométhane produit et injecté

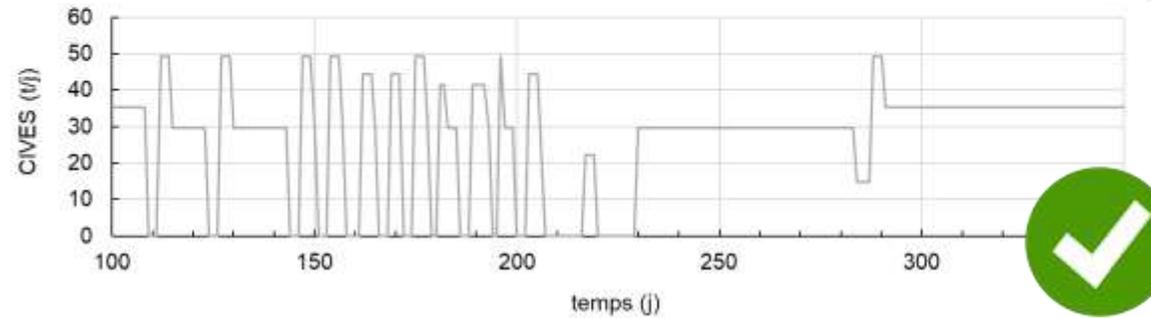
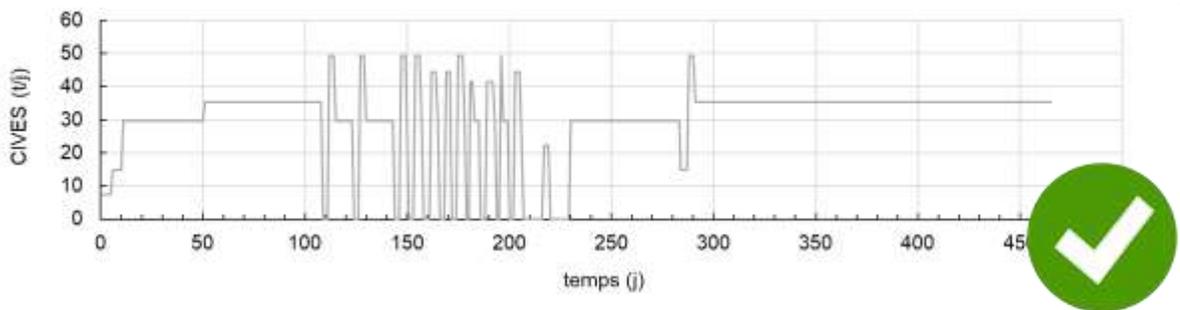
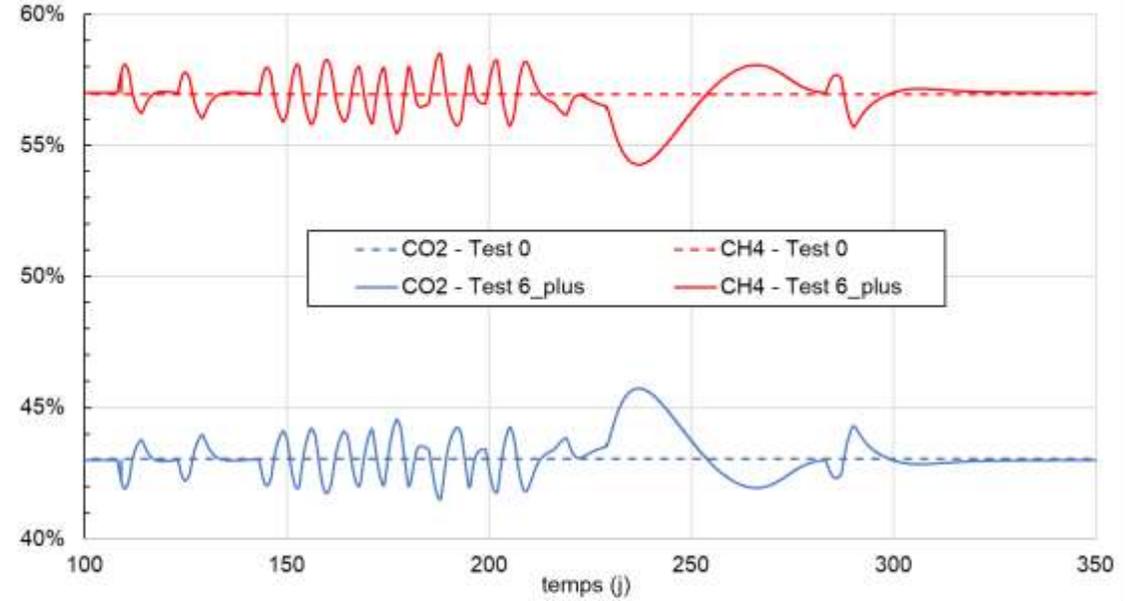
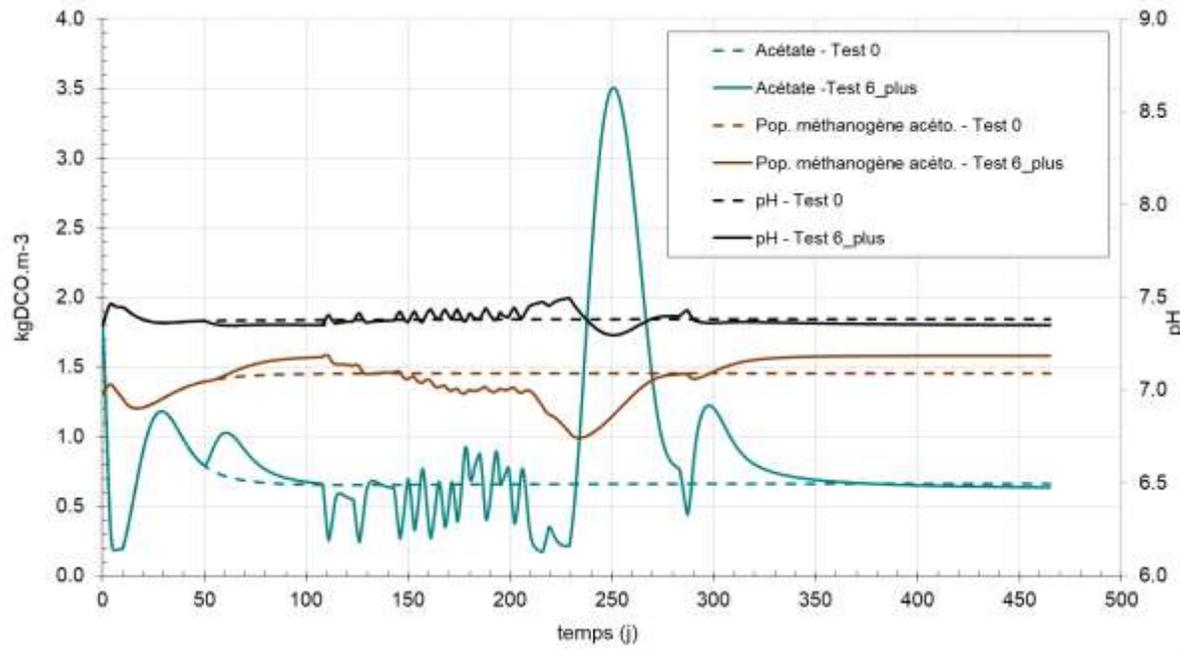


+20% de CIVES en période hivernale

Production injectable	Injecté	Perdu
<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>	<i>Nm3CH4</i>
1 215 734	1 209 612	6 121

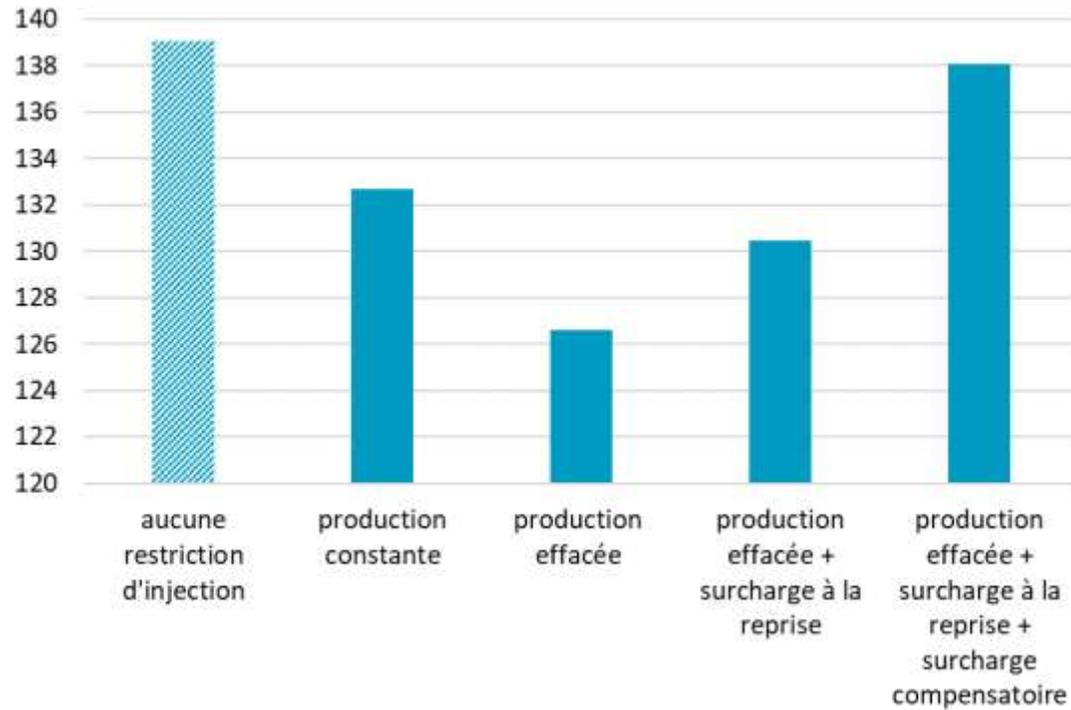
Pertes = 0,5% en torchère

Conséquences sur la stabilité

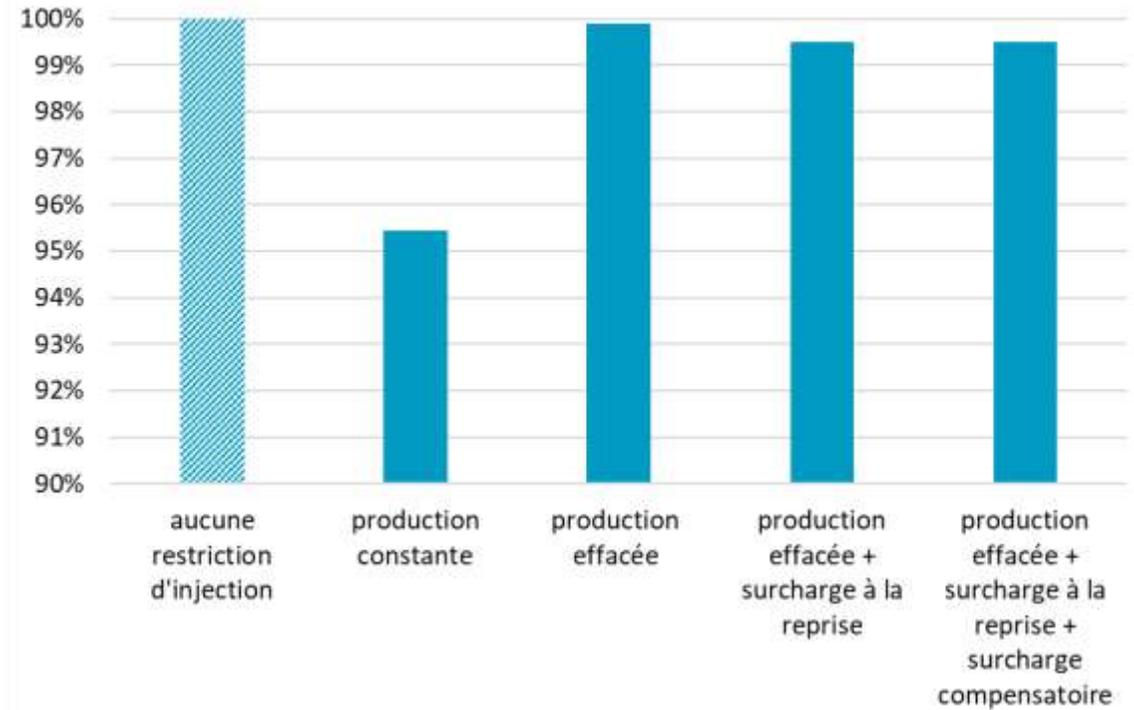


Bilan des scénarios

Débit moyen injectée Nm³CH₄/h



Taux d'injection %

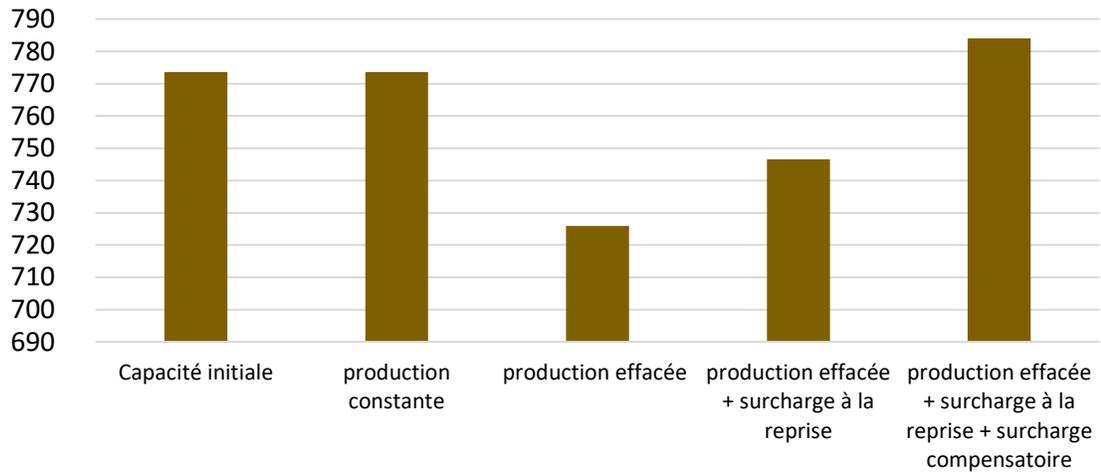


Bilan des scénarios

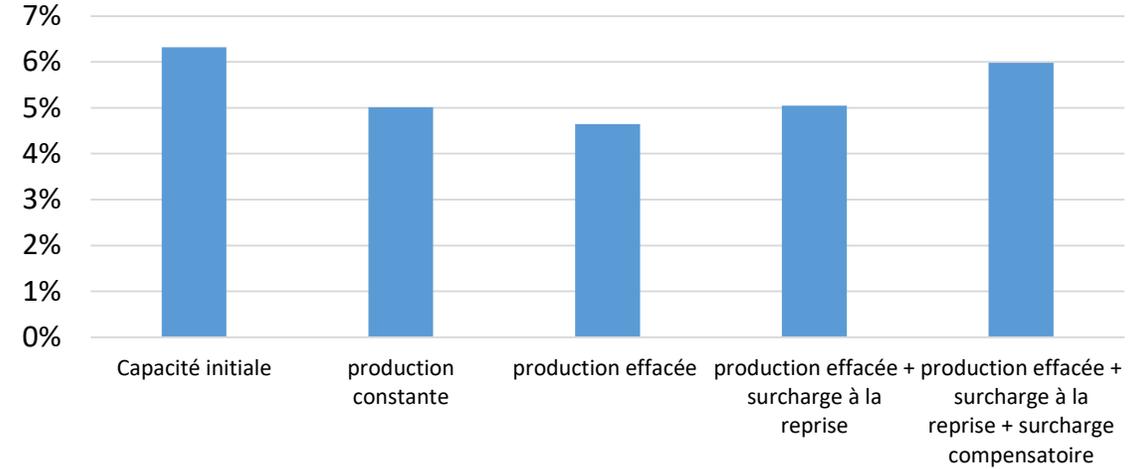
Hypothèses

Cives	0.022 k€/T
Injection	0.00109 k€/Nm ³ CH ₄
OPEX	+10 k€ si flexible

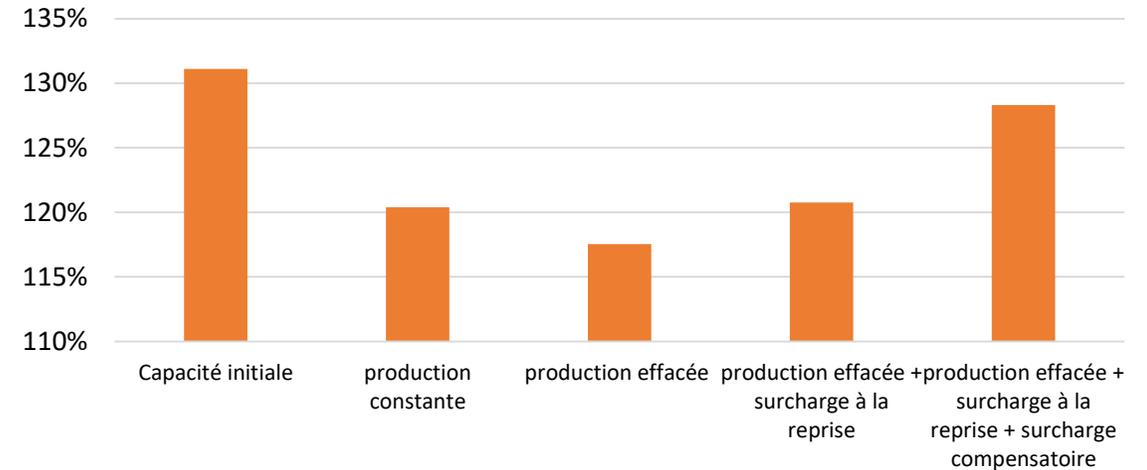
OPEX (k€/an)



TRI



DSCR



Conclusions & Perspectives

- ❑ **Un outil de simulation** pour préparer des scénarios d'alimentation adaptés aux besoins du réseau
- ❑ **Possibilité de mieux répartir dans le temps un substrat pivot stockable** (ex. CIVES) pour conserver performances globales annuelles malgré le besoin d'effacement périodique

FLEXIMETHA 2

2024

- ❑ **Etendre les scénarios prospectifs**, renforcer la qualité des résultats de simulation et affiner les stratégies de pilotage répondant aux contraintes réseau
- ❑ Préparer la rédaction d'un **appel à projet expérimental** de grande ampleur dans le but de réaliser une démonstration industrielle des stratégies proposées d'après les simulations

Merci pour votre attention

Le rapport complet est disponible : <http://gpte.critt.net/fleximetha-vers-une-production-flexible-de-biogaz-pour-faire-face-aux-contraintes-des-reseaux/>

Contacts : spommier@insa-toulouse.fr / simon.metivier@solagro.asso.fr

LES INSCRIPTIONS SONT OUVERTES !

JRI
2024



26 - 28 mars 2024 PAU

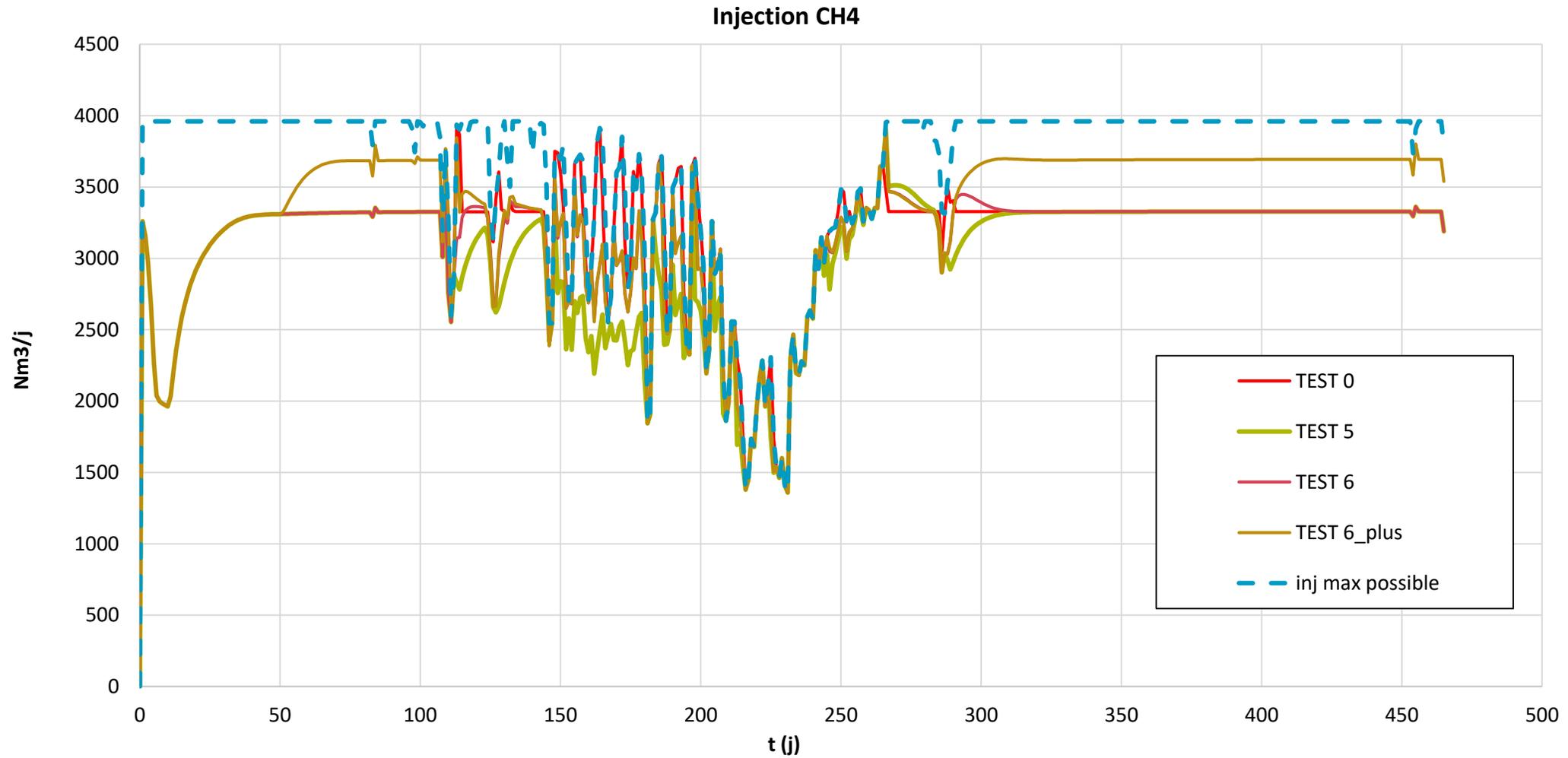
JOURNÉES RECHERCHE INNOVATION

Biogaz Méthanisation



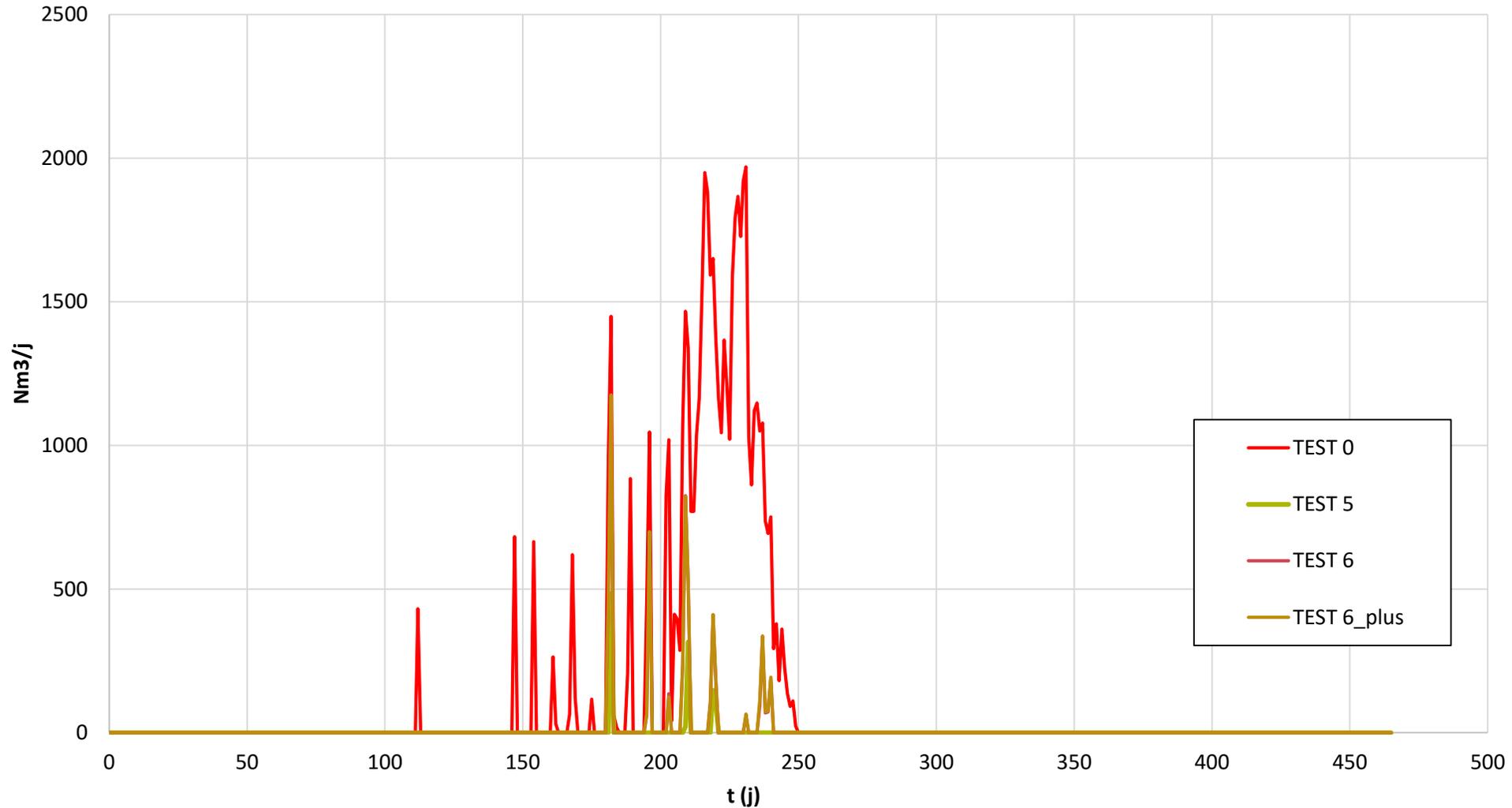
Extra slides pour questions

☐ Récapitulatif scénarios



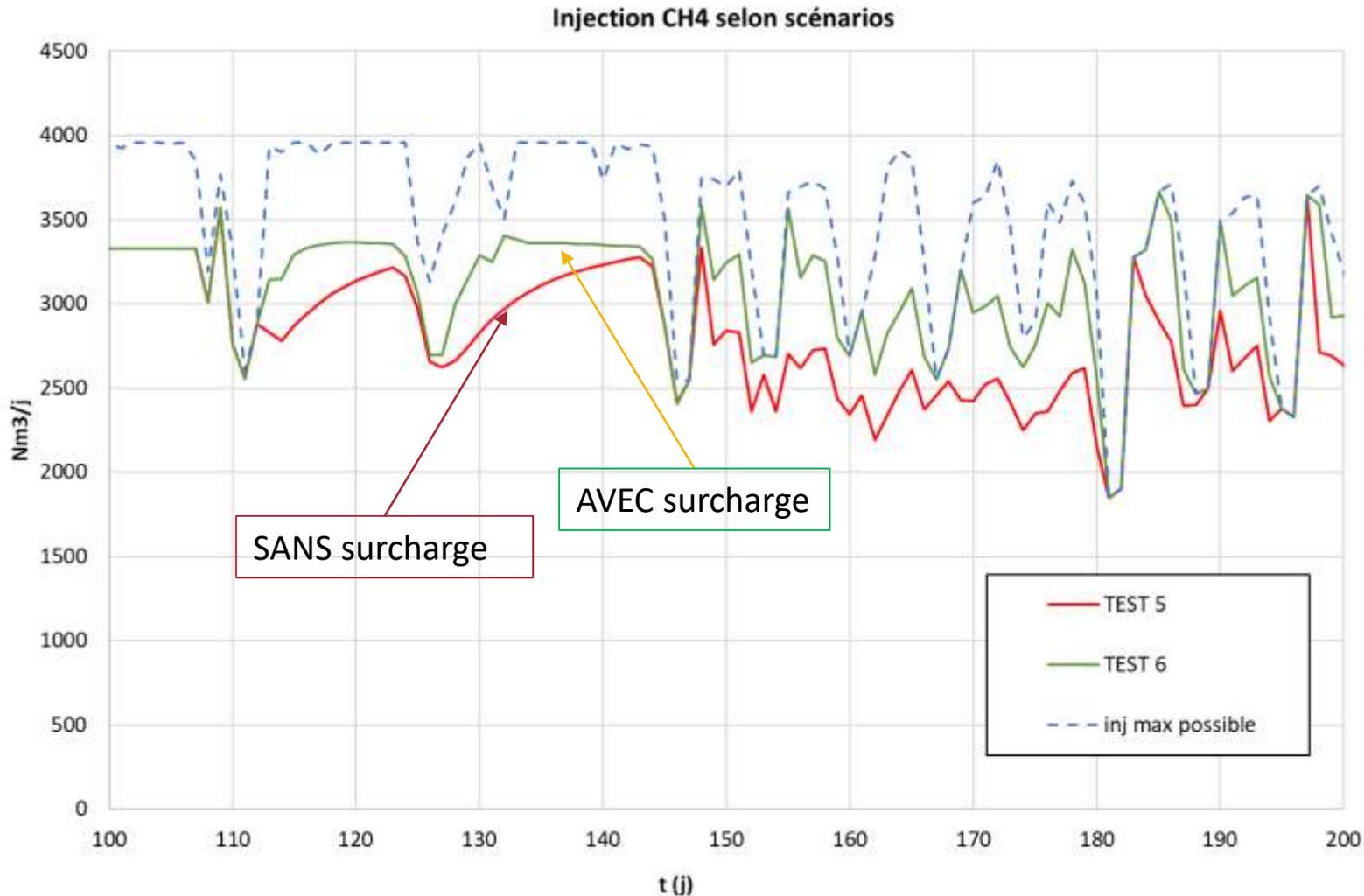
☐ Récapitulatif scénarios

CH4 torché selon scénarios



Flexibilisation : adaptation à la demande réseau

- ☐ Intérêt d'une surcharge ponctuelle après effacement

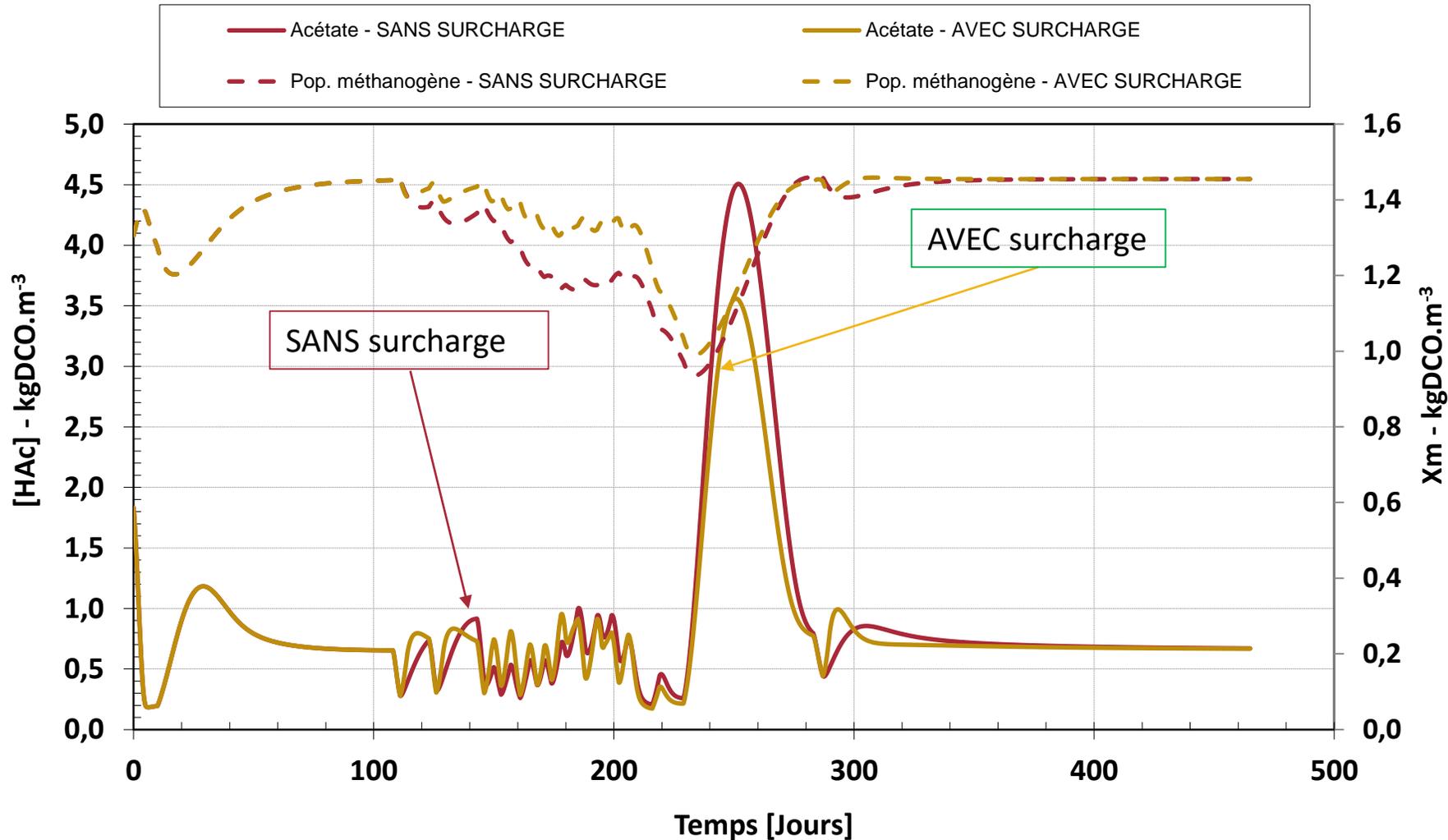


zoom

1

Gain significatif de production injectable

☐ Intérêt d'une surcharge ponctuelle après effacement



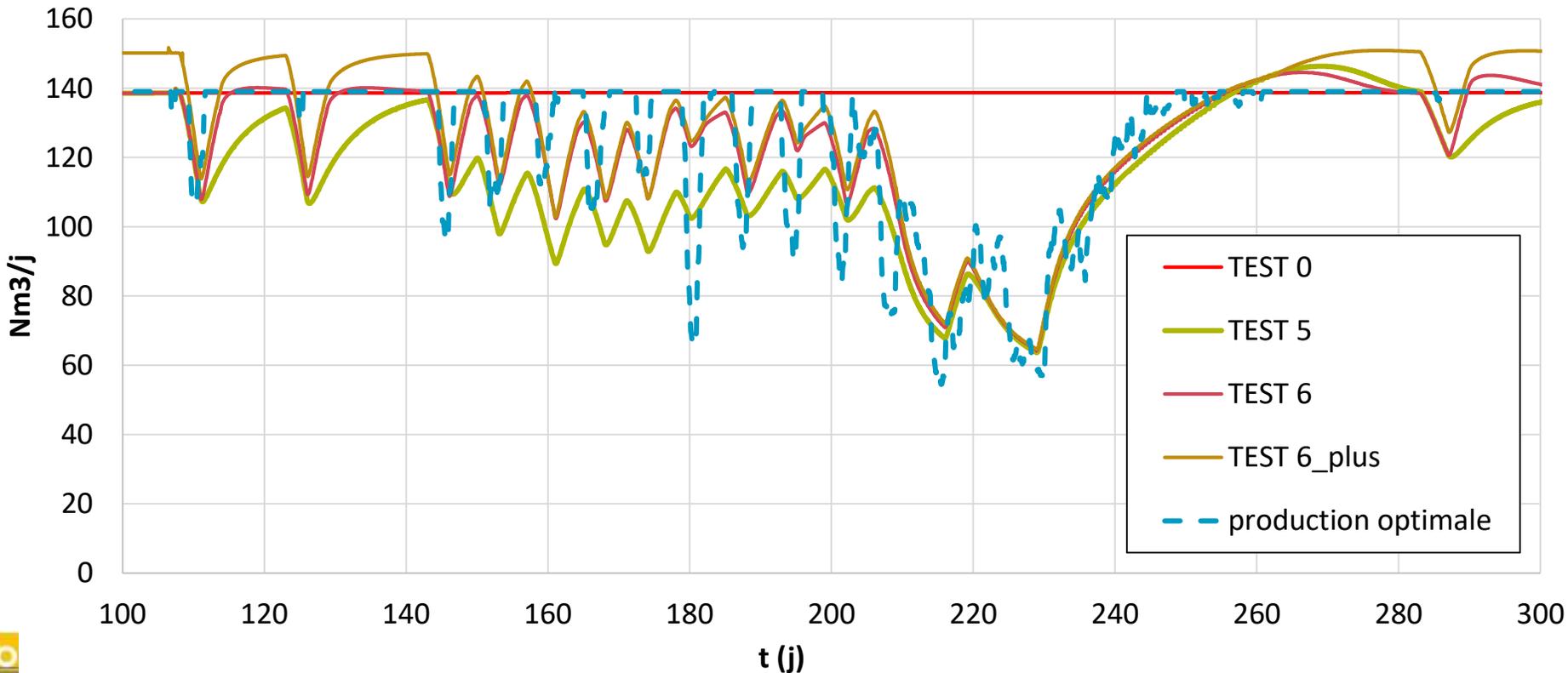
2

Pas de perturbation critique de l'activité biologique
+
Maintien d'une activité plus élevée

Flexibilisation : adaptation à la demande réseau

- Très difficile de suivre une production optimale pour les effacements de courte durée
- Effacement long terme globalement faisable

Production injectable CH4 selon scénarios



Bilan des scénarios

