

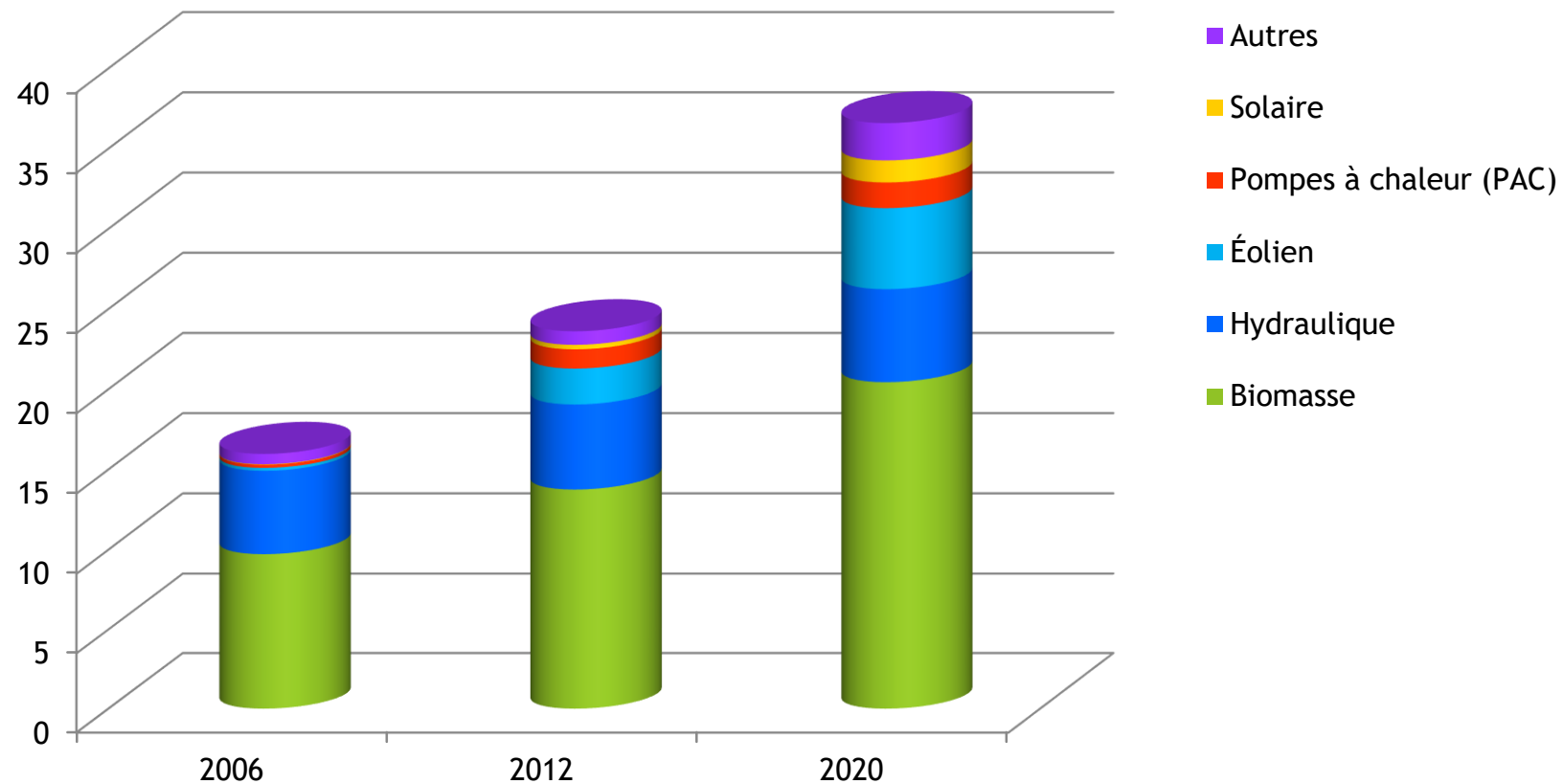
Gazéification de biomasse en lit fluidisé dense

Matthieu Debal, Pierre Girods, Yann Rogaume

plan

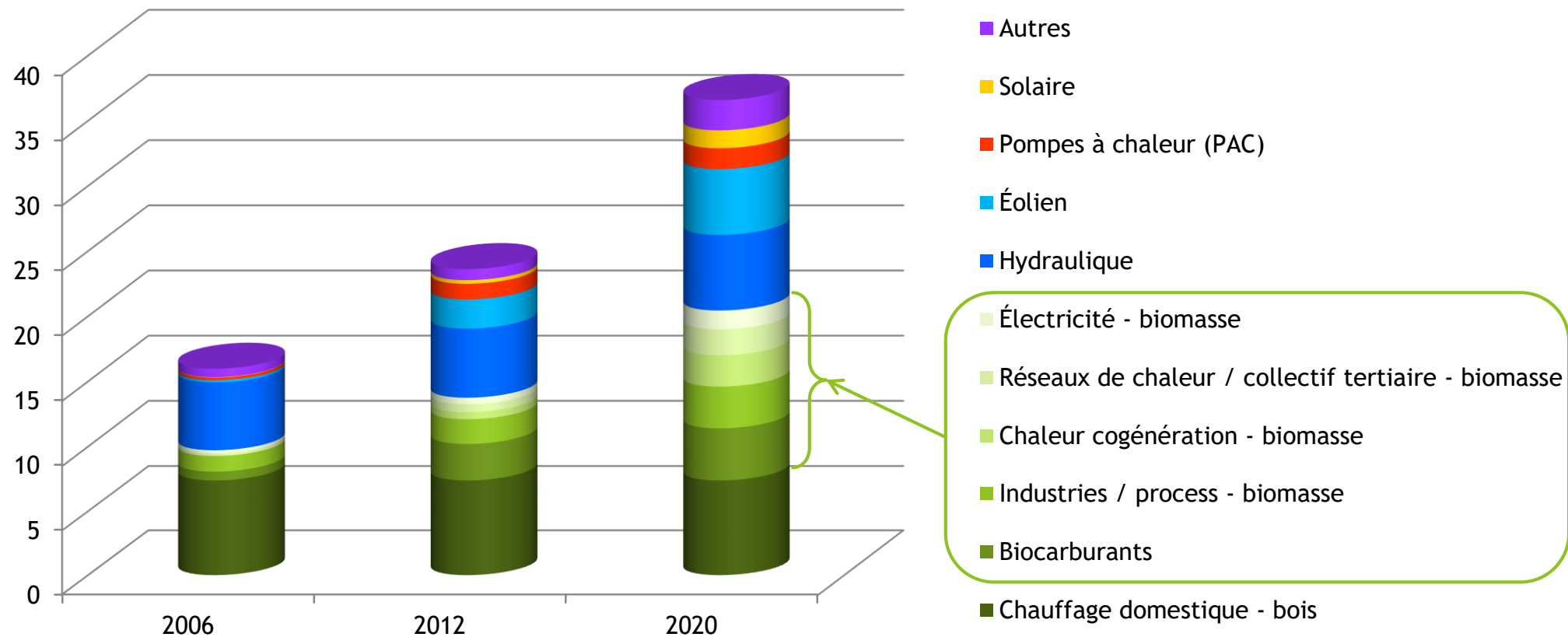
- ▶ Contexte
- ▶ Principes physico-chimiques
- ▶ Présentation du pilote
- ▶ Présentation des résultats
- ▶ Perspectives

Contexte



Grenelle de l'environnement COMOP n° 10

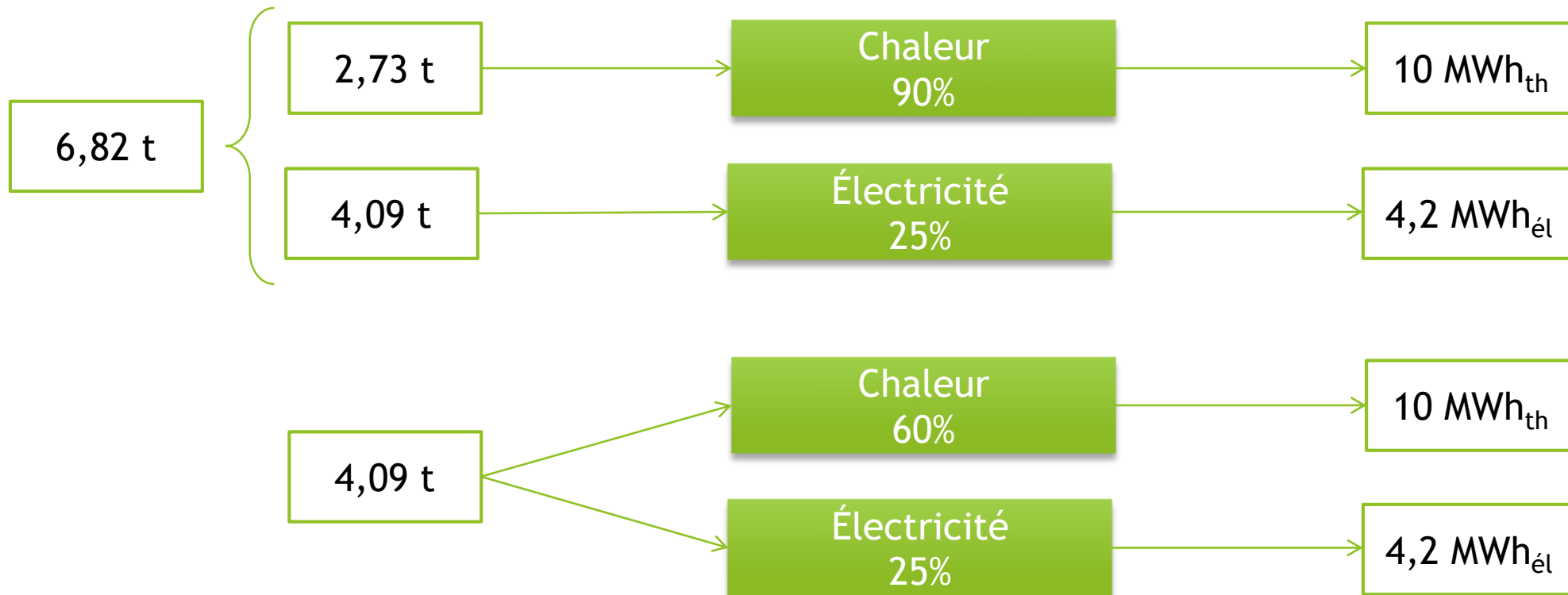
Contexte



Grenelle de l'environnement COMOP n° 10

Cogénération

Production de chaleur et d'électricité à partir d'une même source d'énergie



Base de temps : 1h

Contexte

Cogénération pour la production de 1 MWh_{él}

► Combustion directe puis ORC

Rendement chaleur : 80% 8 MWh_{th}

Rendement électrique : 10% 1 MWh_{él}

Rendement total : 90% 10 MWh

► Combustion directe puis turbine à vapeur

Rendement chaleur : 70-75% 4,1 MWh_{th}

Rendement électrique : 15-20% 1 MWh_{él}

Rendement total : 90% 5,7 MWh

► Gazéification puis combustion en moteur

Rendement chaleur : 45-50% 1,5 MW_{th}

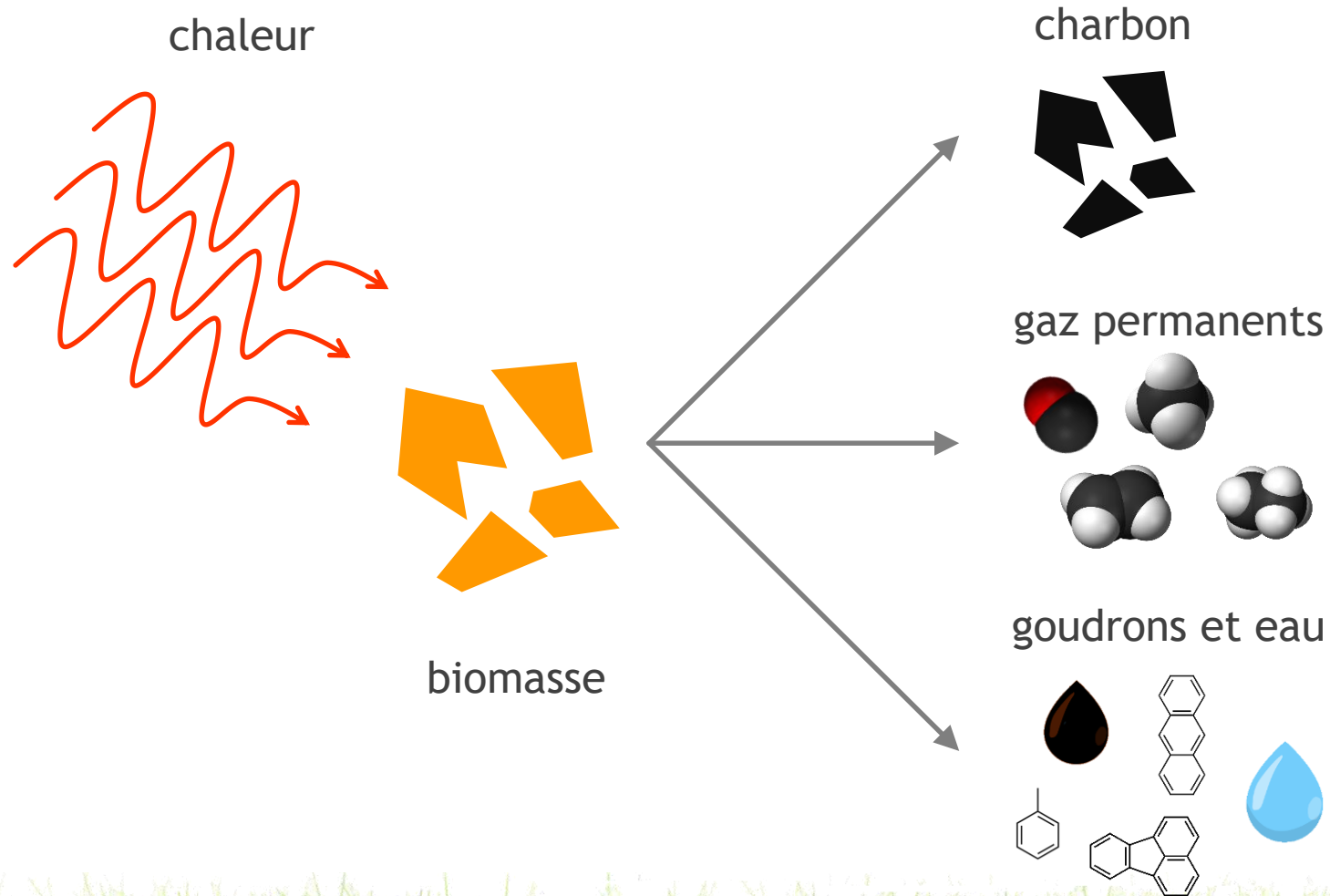
Rendement électrique : 30-35% 1 MWh_{él}

Rendement total : 80% 3,1 MWh

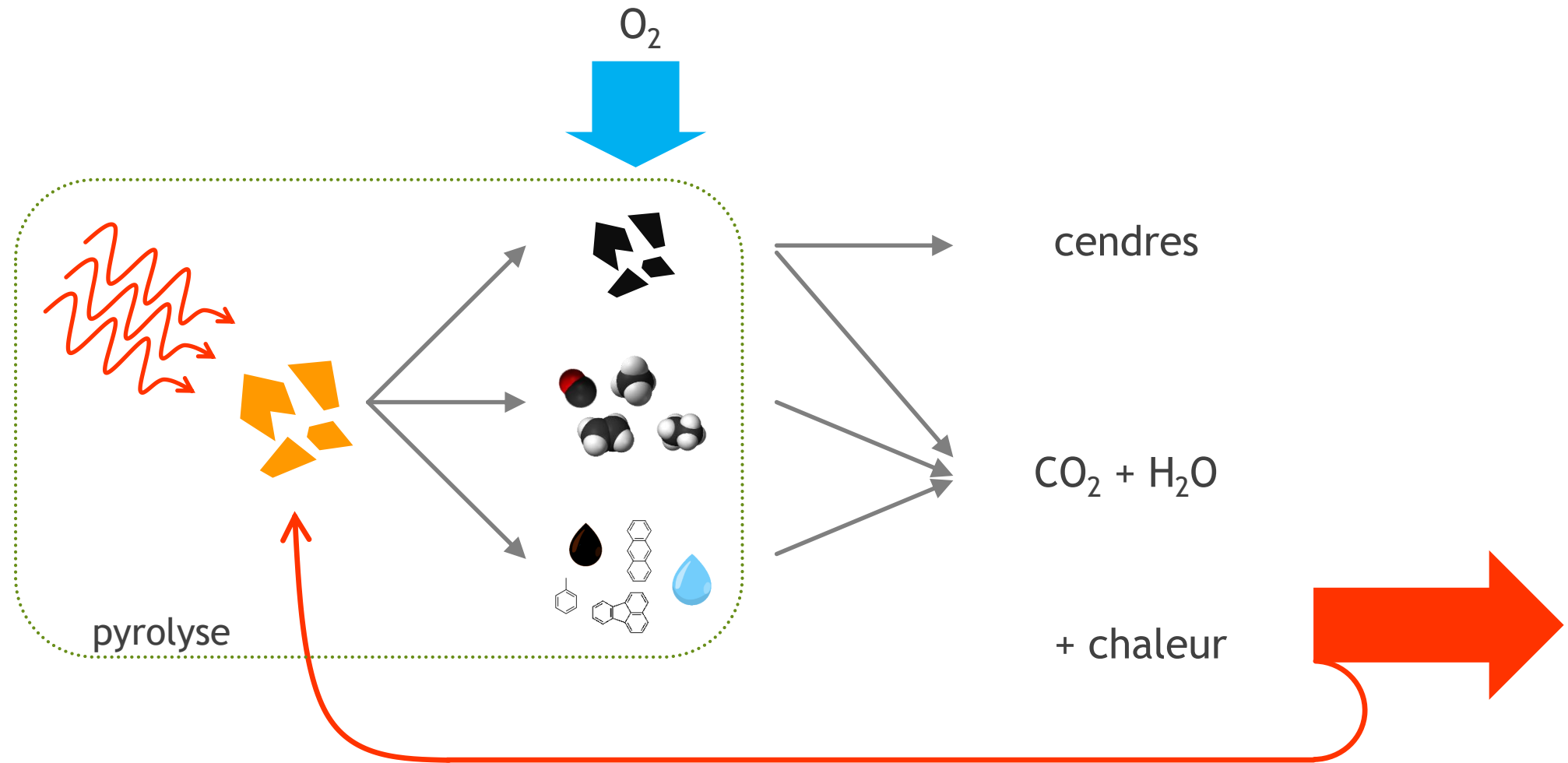
Objectifs

- ▶ Développer la cogeneration entre 0,5 and 10 MW_{él}
 - ▶ Améliorer le rendement électrique
 - ▶ Diversifier les combustibles
 - ▶ Réduire les coûts de fonctionnement
 - ▶ Améliorer la flexibilité (puissance, humidité du combustible, ...)
- ▶ Démontrer la faisabilité
- ▶ Participer à la mise en place des normes et législations

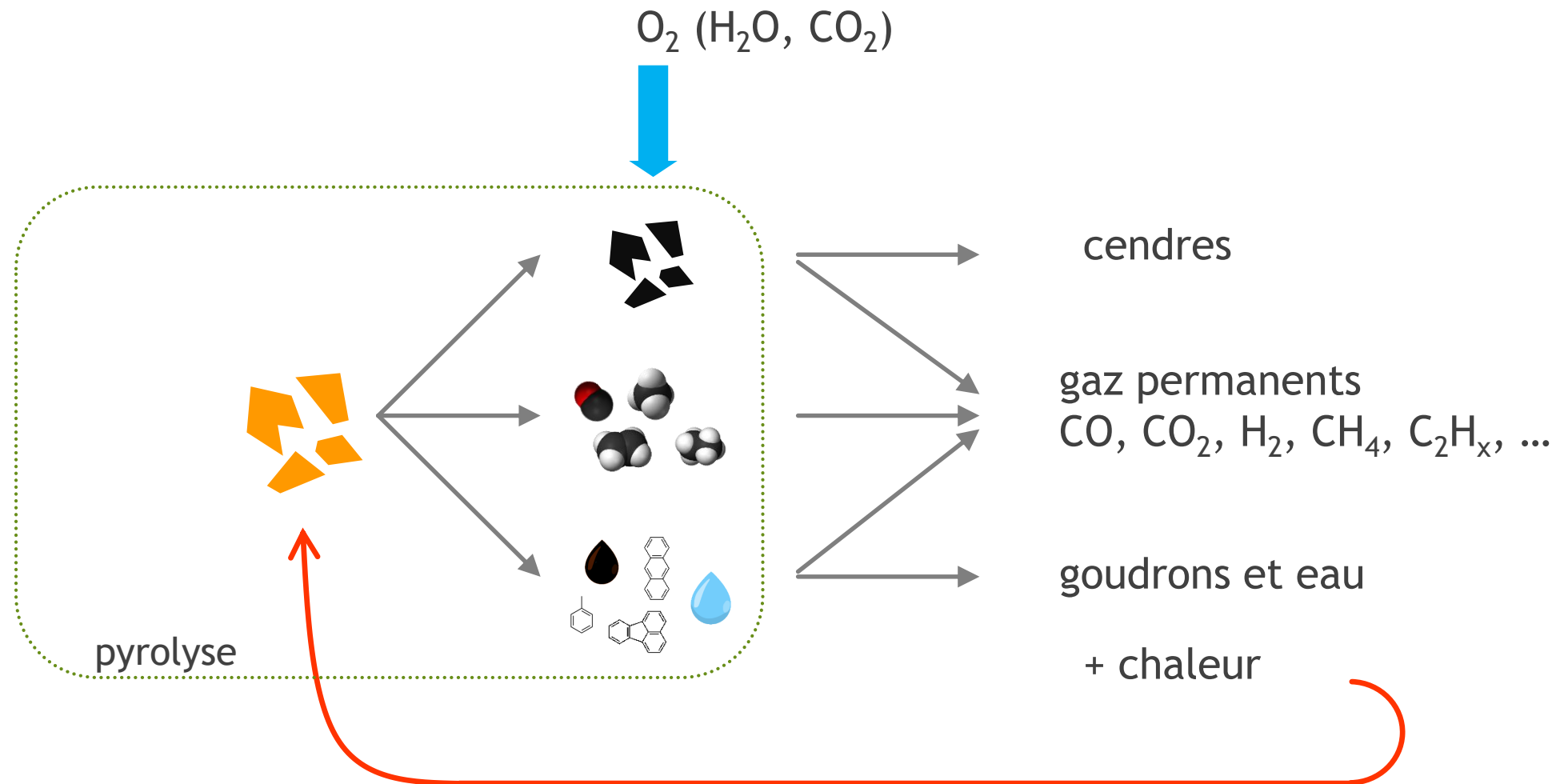
Principes physico-chimiques



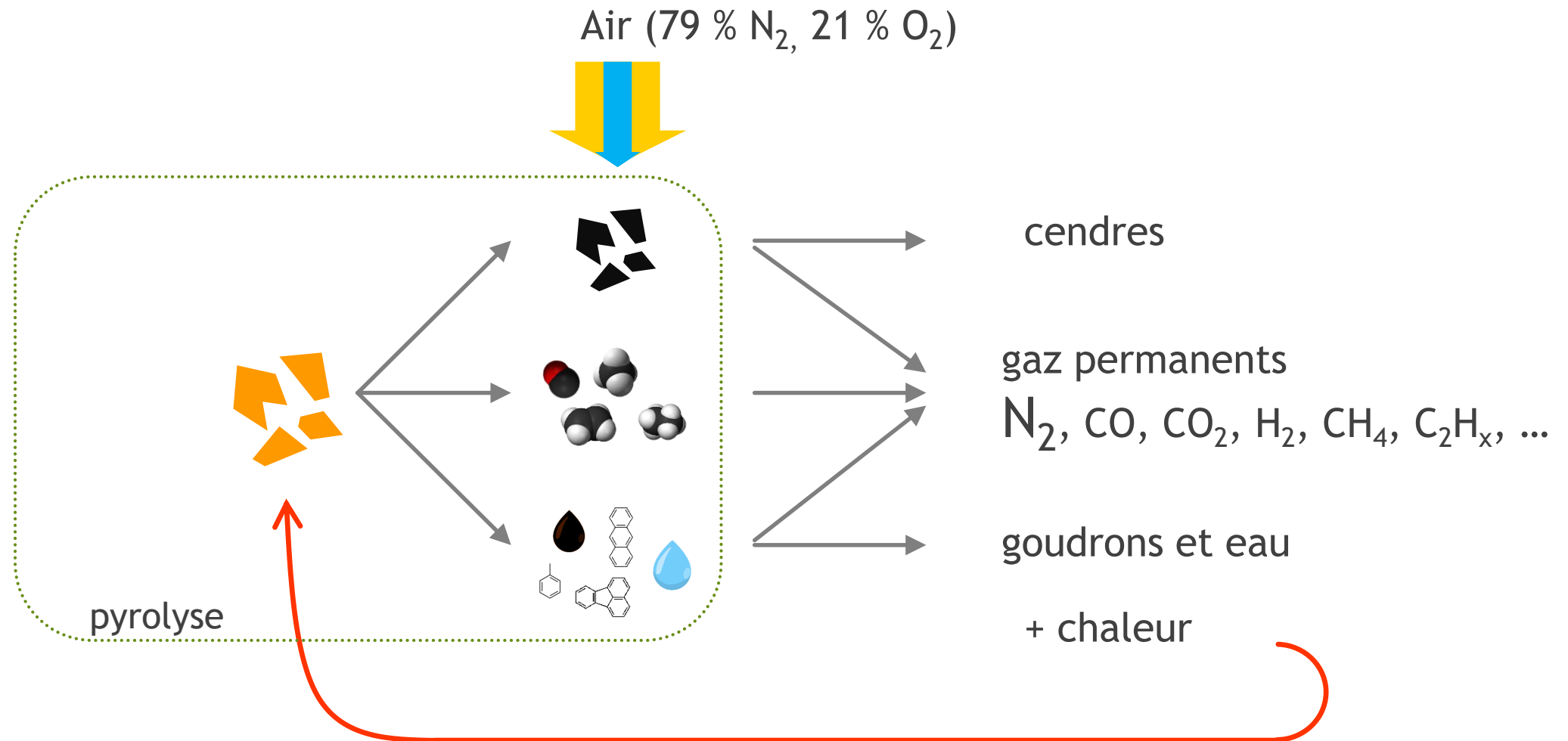
Principes physico-chimiques



Principes physico-chimiques

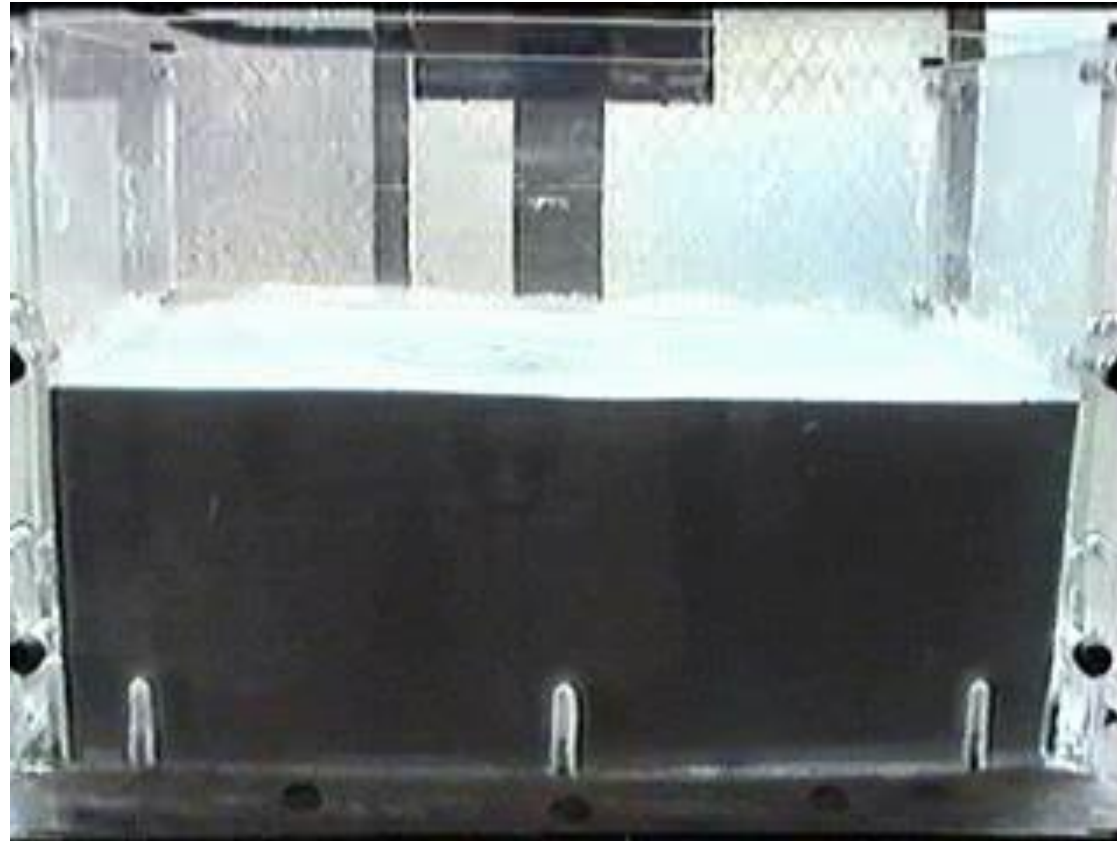


Principes physico-chimiques



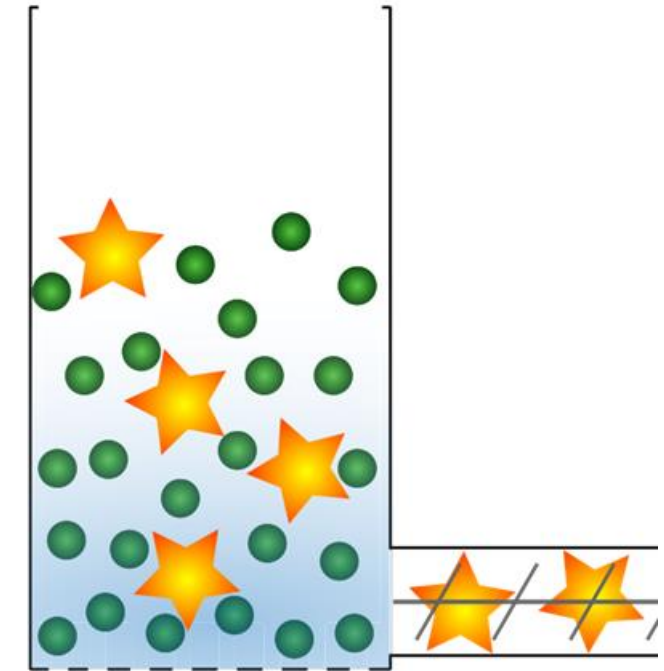
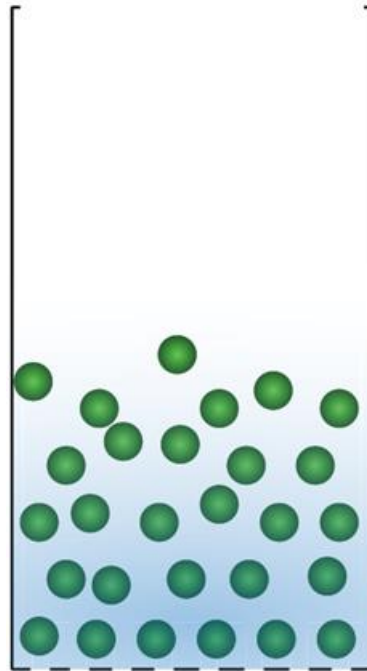
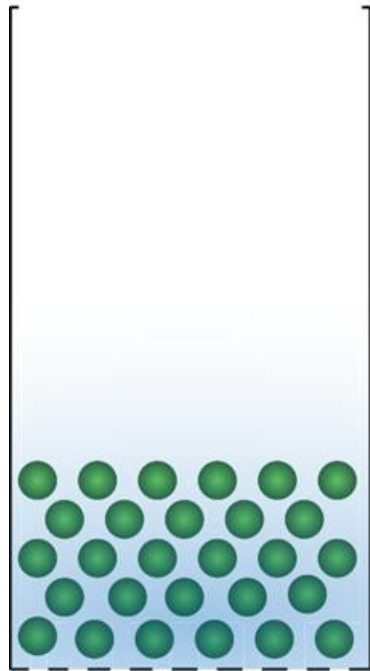
Lit fluidisé bouillonnant

- ▶ Mise en suspension de particules par un fluide ascendant



Vidéo : Martin Rhodes

Lit fluidisé bouillonnant



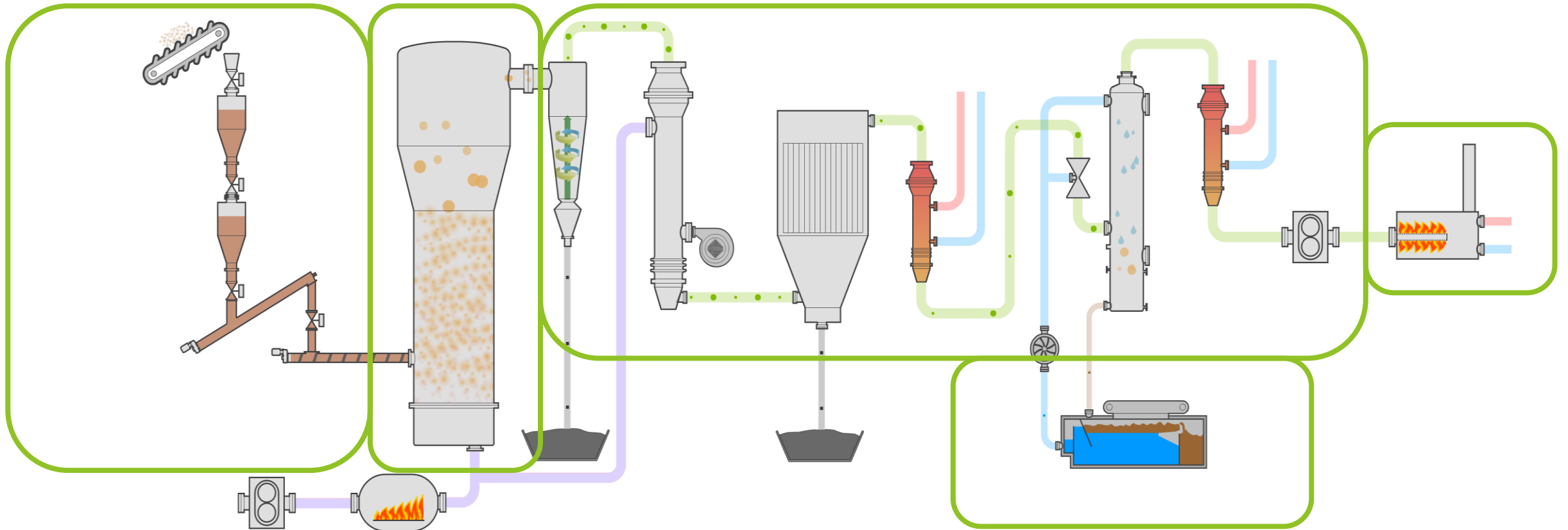
Pilote

- ▶ Lit fluidisé dense
- ▶ Technologie EQTEC
- ▶ Conception industrielle
- ▶ 50 kg/h
- ▶ Autorisation ICPE
- ▶ Mis en service 11/2015



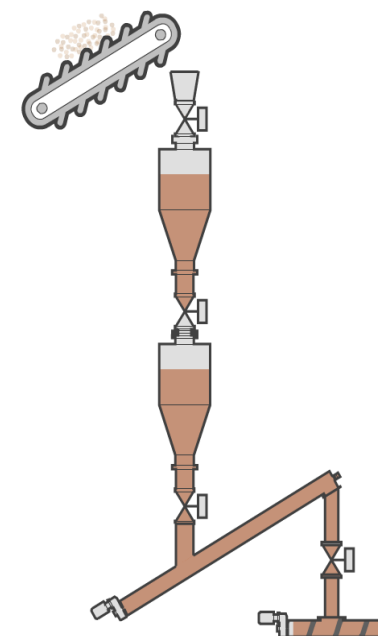
Pilote

► 5 éléments



Pilote

- ▶ 5 éléments
 - ▶ Stockage et transport du combustible
 - ▶ Benne séchante
 - ▶ Enlevable par camion porteur
 - ▶ Inertage
 - ▶ Pesée du combustible
 - ▶ Granulométrie jusque 50 mm



Pilote

- ▶ 5 éléments
 - ▶ Stockage et transport du combustible
 - ▶ Réacteur de gazéification
 - ▶ Diamètre 45 cm
 - ▶ Hauteur 6 m
 - ▶ Air primaire et secondaire
 - ▶ Humidification



Pilote

- ▶ 5 éléments
 - ▶ Stockage et transport du combustible
 - ▶ Réacteur de gazéification
 - ▶ Nettoyage du gaz

Cyclone

Échangeur à air

FAM

Échangeur à eau

Venturi

Tour de lavage

Échangeur à eau



Pilote

► 5 éléments

- Stockage et transport du combustible
- Réacteur de gazéification
- Nettoyage du gaz

Cyclone

Échangeur à air

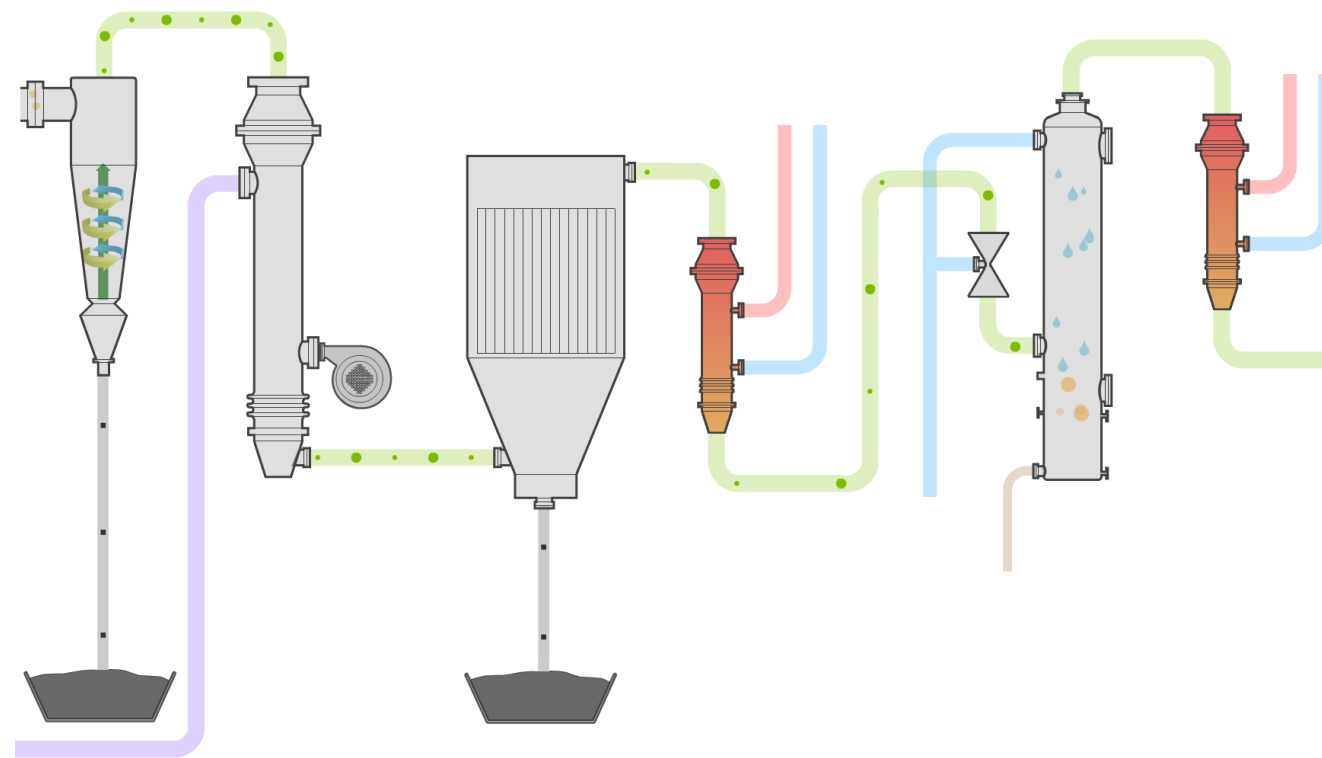
FAM

Échangeur à eau

Venturi

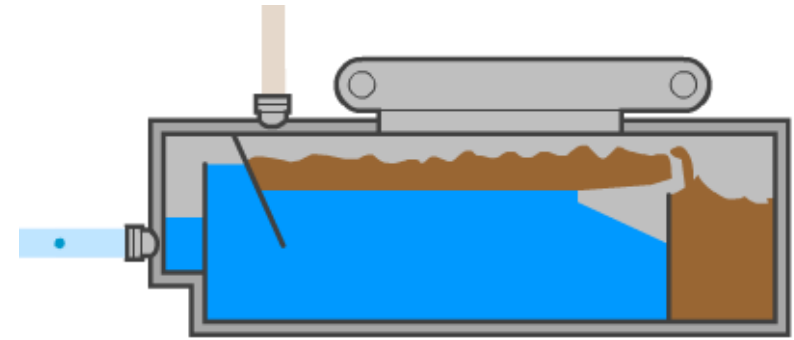
Tour de lavage

Échangeur à eau



Pilote

- ▶ 5 éléments
 - ▶ Stockage et transport du combustible
 - ▶ Réacteur de gazéification
 - ▶ Nettoyage du gaz
 - ▶ Nettoyage des effluents liquides
 - Recirculation
 - Récupération dans une cuve annexe



Pilote

- ▶ 5 éléments
 - ▶ Stockage et transport du combustible
 - ▶ Réacteur de gazéification
 - ▶ Nettoyage du gaz
 - ▶ Nettoyage des effluents liquides
 - ▶ Combustion du gaz
 - Syngaz et gaz naturel (démarrage)
 - Combustion sur tissu métallique



Pilote

► Points de mesures

► 25 températures

(15 + 10)

► 21 pressions

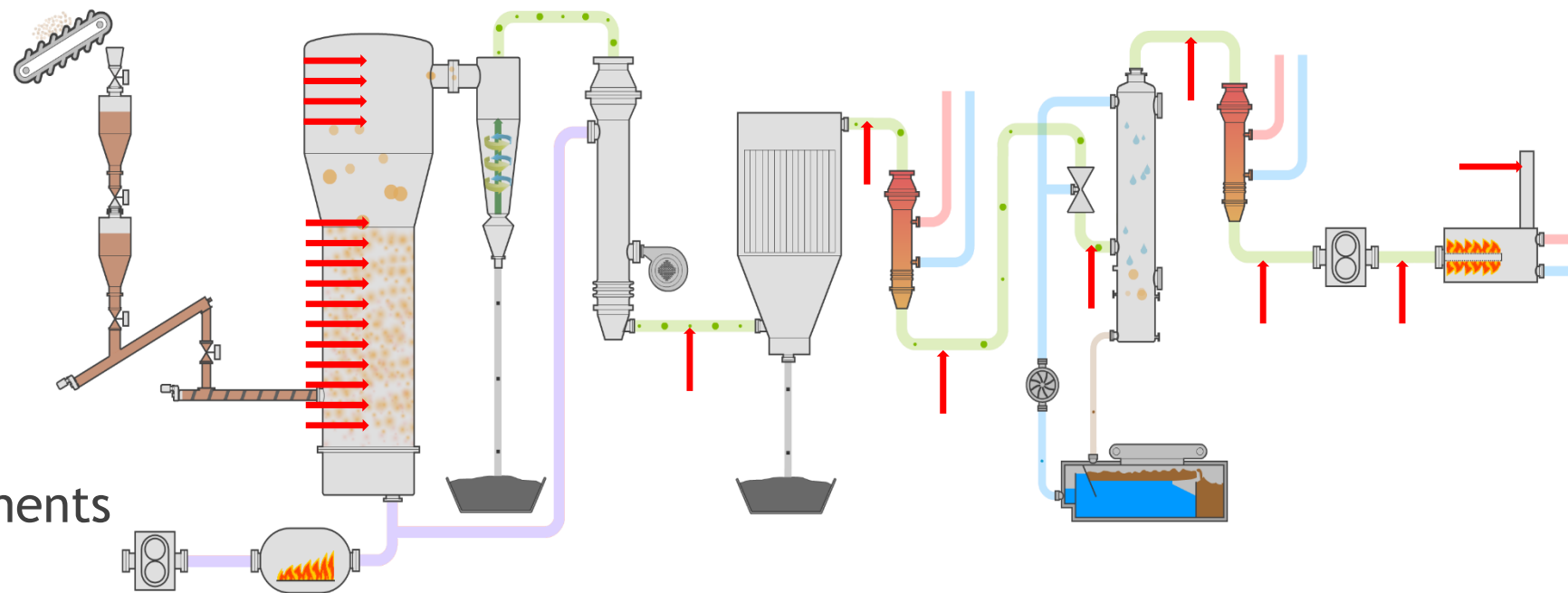
(13+8)

► 22 points de prélèvements

(15+7)

► Débit d'air entrant

► Débit de gaz produit



Analyse des gaz

- ▶ Analyse en continu sur 3 points en gazéification et 1 point en combustion

- ▶ Gaz majoritaires

CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H_y, N₂, O₂ sur gaz sec par μ GC (en ligne)

CO, CO₂, CH₄, C₂H_y, O₂ sur gaz humide par FTIR (en ligne)

- ▶ Gaz traces

(HCl, HF, NH₃, NO_x, SO₂) sur gaz humide par FTIR (en ligne)

- ▶ Goudrons

En ligne par μ GC (Benzene, Toluene, Xylene)

Hors ligne (Tar protocol)

- 1 to 4 cycles aromatiques → GC-FID
- 2 to 5 cycles aromatiques → HPLC-Fluorescence detector

- ▶ Teneur en eau

En ligne par FTIR

Hors ligne par tar protocol et Karl-fisher

Conditions expérimentales

- ▶ Olivine (Sibelco 0,4 mm “Incast LE30”)
- ▶ Granulés de bois
- ▶ Débit de biomasse : 62,1 kg/h
- ▶ Débit d’air entrant : 74,9 Nm³.h⁻¹
- ▶ Facteur d’air : 0,283
- ▶ $U/U_{mf} = 4,0$

Composition élémentaire de la biomasse (%_{sec})

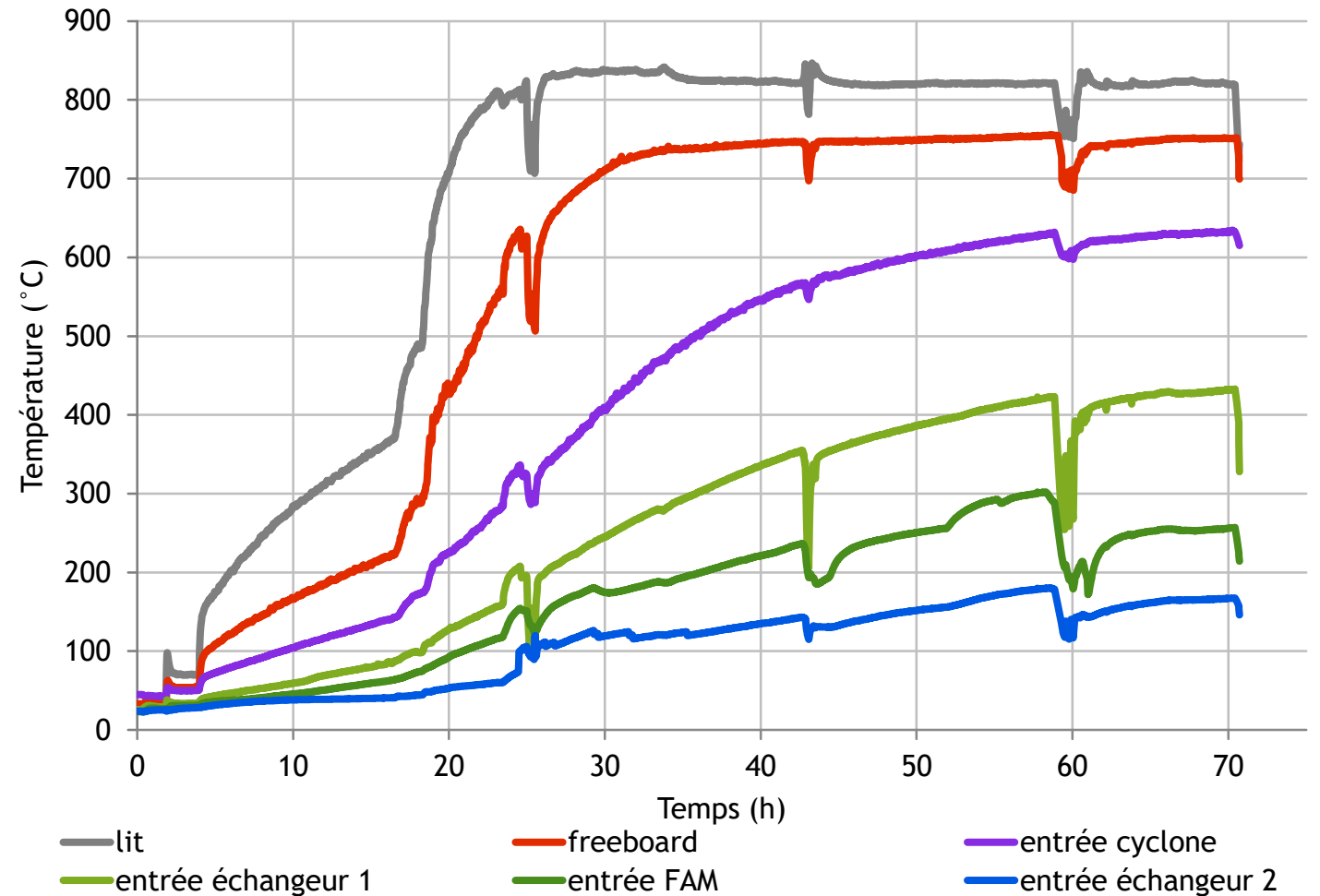
C	49,7
H	6,6
O (par différence)	43,4
N	< 0,3
S	0,0049
Cl	0,0032

Caractéristiques de la biomasse

Taux de cendre (% _{sec})	0,06
Taux de matière volatile (% _{sec})	80
Humidité (% _{humide})	6,8
PCI (MJ.kg ⁻¹)	17,1

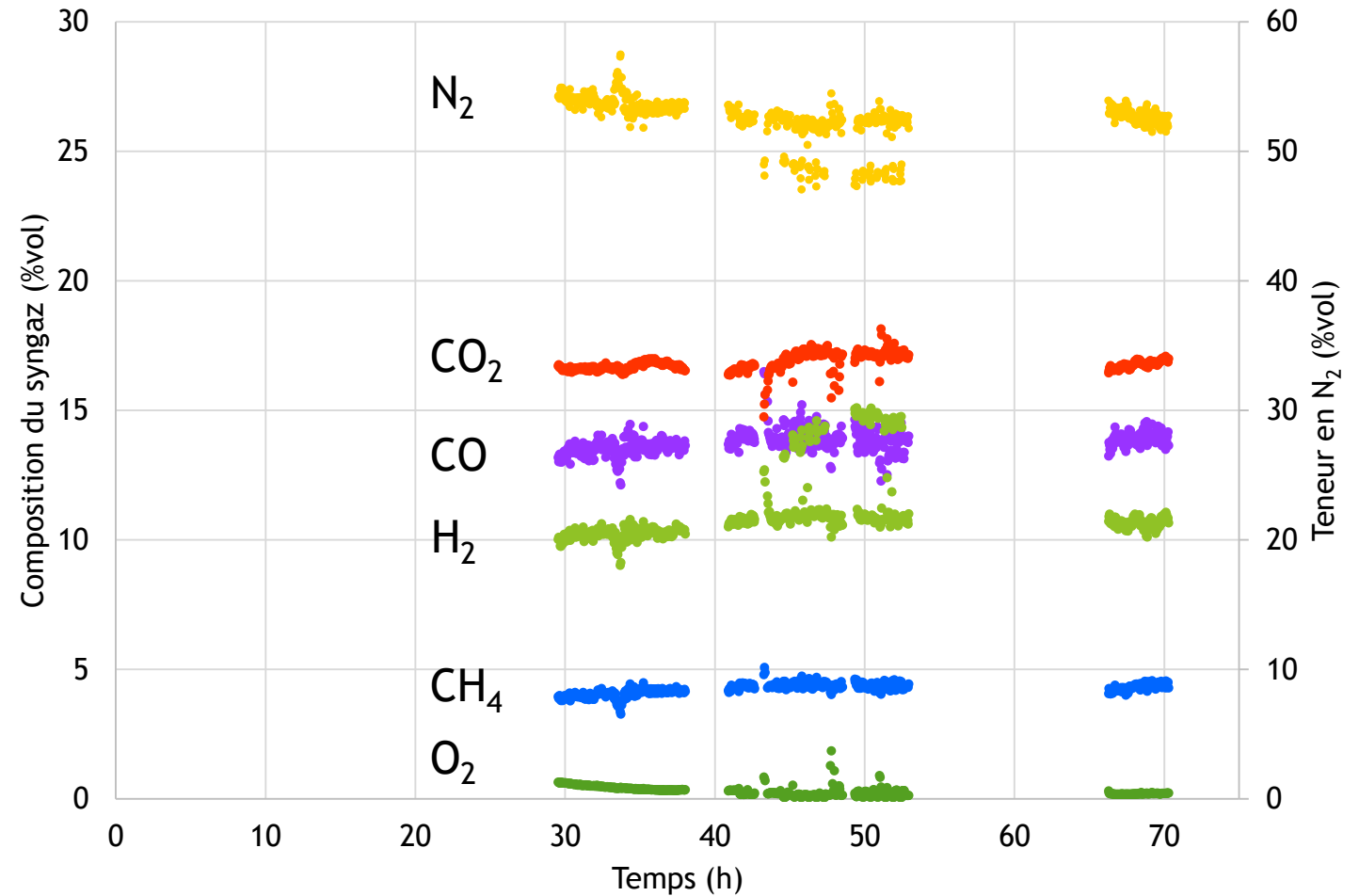
Premiers résultats

- ▶ Longue période de chauffe
- ▶ Stabilisation rapide du réacteur
- ▶ Longue période de chauffage de l'ensemble du dispositif



Premiers résultats

- Composition du gaz stable dès 45 h
- Evolution de la composition dans la freeboard
- C_2H_y proportionnels à CH_4



Premiers résultats

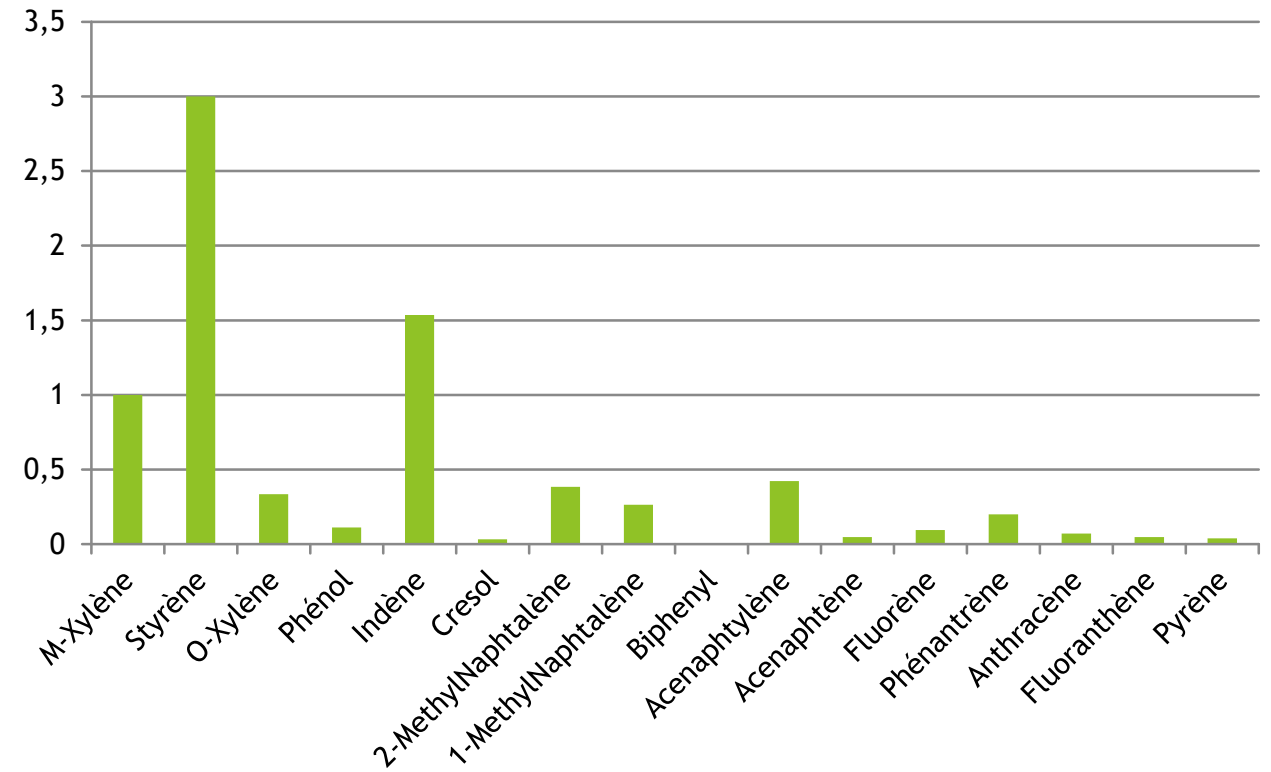
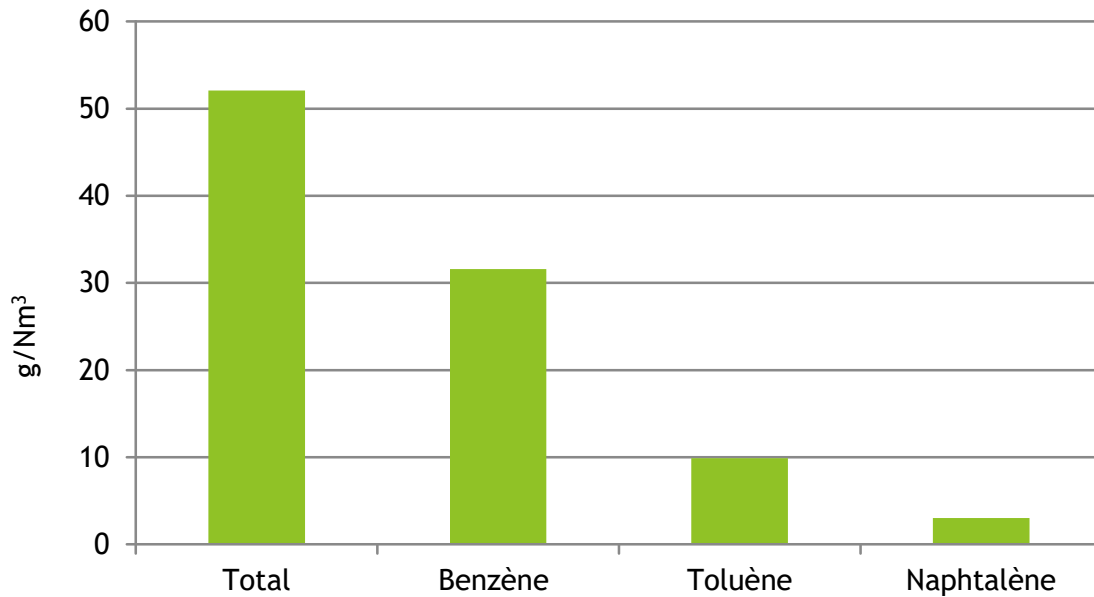
► Composition du gaz de synthèse

	N ₂	H ₂ O	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆
Composition (% _{vol})	43,4	15,8	14,4	11,9	9,6	3,7	1,0	0,1	0,1

Débit de syngaz (Nm ³ .h ⁻¹)	Débit de syngaz (Nm ³ .kg _{biom} ⁻¹)
136,8	2,20

Premiers résultats

► Teneur en goudrons



Premiers résultats

► Bilans

	PCI (kJ.Nm ⁻³)	Rendement sur gaz froid	Puissance gaz (kW)
avec BTX	6330	81,8 %	241
sans BTX	4600	59,4 %	175

	Masse entrante (kg)		Masse sortante (kg)
air	2797	syngaz	4734
biomasse	1800	eau	153
		particules	45
		goudrons	34

Bilan massique : 1,08

Perspectives

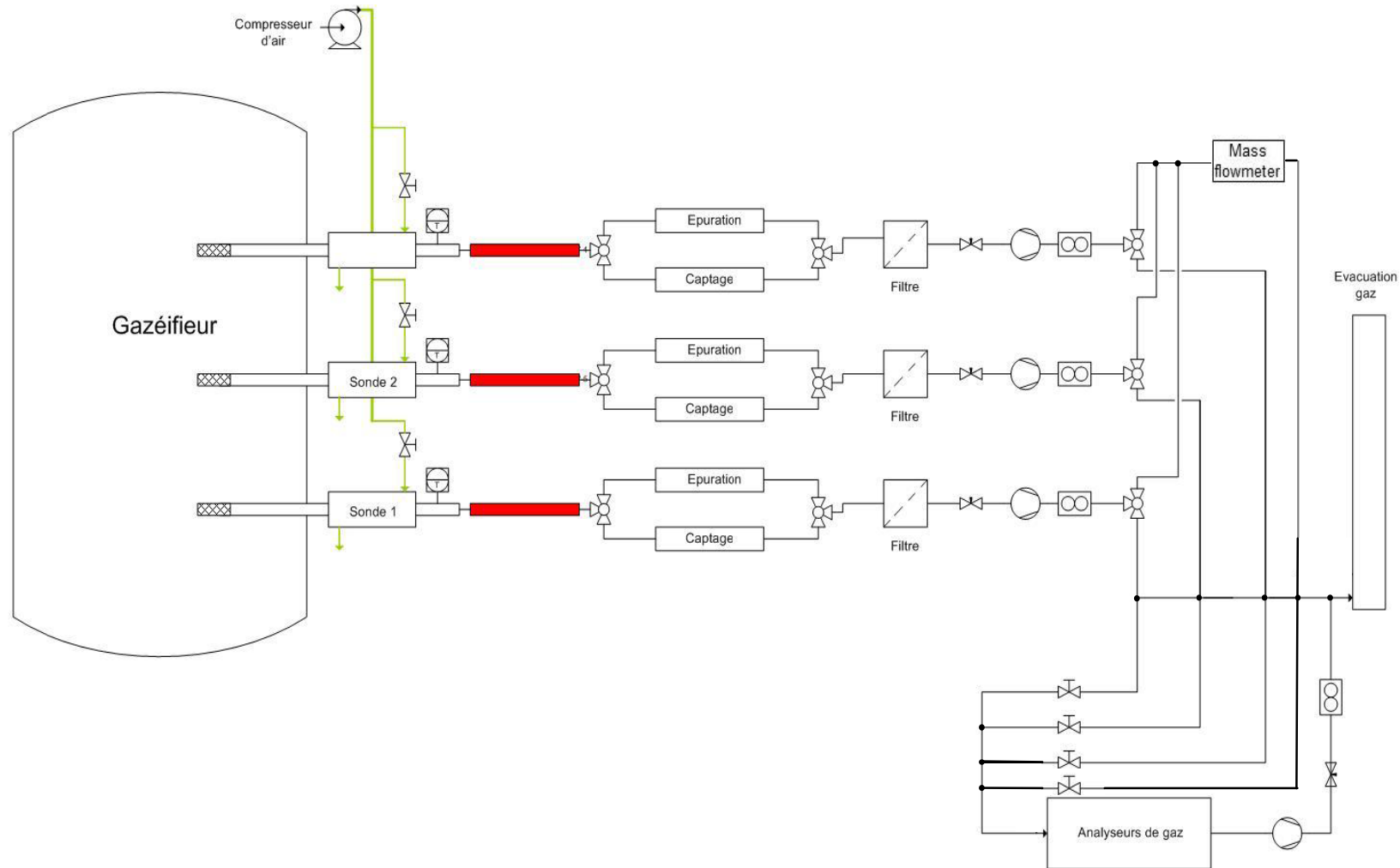
- ▶ Diversifier les combustibles
 - ▶ Teneur en cendres
 - ▶ Température de fusibilité
 - ▶ Combustibles pollués
 - ▶ Faible masse volumique
- ▶ Production et séparation de CH_4 et H_2
- ▶ Améliorer le bilan massique (débit d'air entrant)
- ▶ Étudier l'évolution de la composition du gaz dans le process
- ▶ Étudier l'évolution des goudrons dans le process

Merci de votre attention

LERMAB, Université de Lorraine, EA 4370, 27 rue Philippe Séguin, 88000 Épinal, France

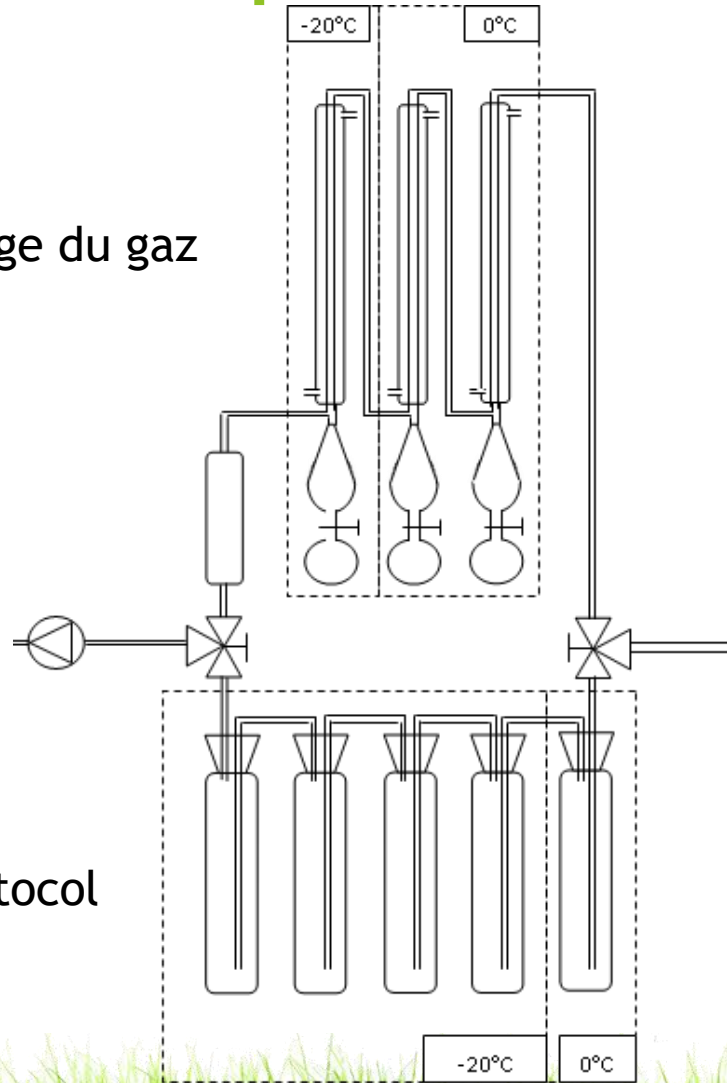
Matthieu Debal , Pierre Girods , Yann Rogaume

Systeme de prélèvement



Systeme de prélèvement

Nettoyage du gaz



Tar protocol

