



Session thématique: Déploiement à grande échelle des technologies développées au niveau local

Histoire complète du Pyrolyseur d'anacarde à travers les frontières : genèse, défis, avenir

Pascale MARTEL-NAQUIN, Présidente, CEFREPADE
Thierry GODJO, Enseignant-Chercheur, UNSTIM Bénin
Étienne PERRIER, chargé de projet énergie, Nitidæ



Histoire complète du pyrolyseur d'anacarde à travers les frontières : genèse, défis, avenir



1. Présentation structures et intervenants

2. Genèse

Contexte
Problématique
Caractérisation
Prototype

3. Pilote Semi-industriel

Fabrication
Solution pour les transformateurs

4. Diffusion de la technologie

5. Focus Bénin : Transfert technologie et Retour d'expérience

6. Avenir

Préservation de l'**environnement** des pays du Sud & **renforcement** des **économies locales**

**12 administrateurs
et 195 collaborateurs**

4 domaines d'expertise

- Forêts / ressources naturelles ■
- Agriculture & marchés ■
- Aménagement du territoire ■
- Bioénergies & déchets ■

7,3 M€ de budget

3 initiatives

- N'kalô : l'information engagée ■
- Nitidæ Lab : notre expertise scientifique ■
- Plateforme agrovalor : pour développer ■
des solutions énergétiques adaptées



90 interventions

réparties entre projets et études.

6 représentations

- Burkina-Faso
- Côte d'Ivoire
- Madagascar
- Mozambique
- Mali
- Sénégal

Mais aussi :

De nombreux autres pays d'intervention en 2022 : Ouganda, Namibie, Cameroun, Maroc, Togo, Colombie, etc.

- CEFREPADE : association scientifique et technique créée en 2007, basée à l'INSA de Lyon (laboratoire DEEP)
- Réseau international d'experts en matière de gestion des déchets, assainissement et autres problématiques environnementales dans les pays du Sud (Haïti et Afrique sub-saharienne principalement)
- Principaux partenariats en Haïti (Université Quisqueya et Université de Limonade, associations communautaires paysannes AOG et APV), au Burkina-Faso (Région des Hauts-Bassins /Bobo-Dioulasso, IRSAT, AJAD), au Bénin (UNSTIM Abomey, LEVOJO), au Togo (Université de Lomé, ENPRO), au Cameroun (ERA Cameroun)
- Recherche - Actions de terrain - Renforcement de compétences (formations, documents techniques)

Présentation UNSTIM



- Etablissement public d'enseignement supérieur à caractère scientifique et technique, Créée en 2016
- Située à Abomey (120 km de la Capitale Cotonou)
- 4 Campus, 10 UFR localisées à
 - Campus d'Abomey : INSPEI, ENSGEP, ENSTP, ENSGMM et DE-STIM
 - Campus de Lokossa : INSTI (Ex-IUT) et ENSET
 - Campus de Dassa : ENSBBA
 - Campus de Natitingou : ENS et FAST
- 4900 étudiants
- 130 Enseignants chercheurs
- 107 personnel administratif, technique et de service
- 105 accords de coopération dont 41 accords cadres 64 accords sectoriels
- Plusieurs projets
 - en cours dont ICAT/PEA
 - antérieurs : Valorisation des déchets anacarde en Gaz et biocharbon

2. Genèse

Contexte

- Initiative RONGEAD (devenu NITIDAE)
- Financement Région Auvergne Rhône-Alpes

PROJET CAJOUVALOR 2011/2013 : Programme pilote de valorisation des sous-produits de la filière anacarde dans la région des Hauts Bassins (Burkina Faso)

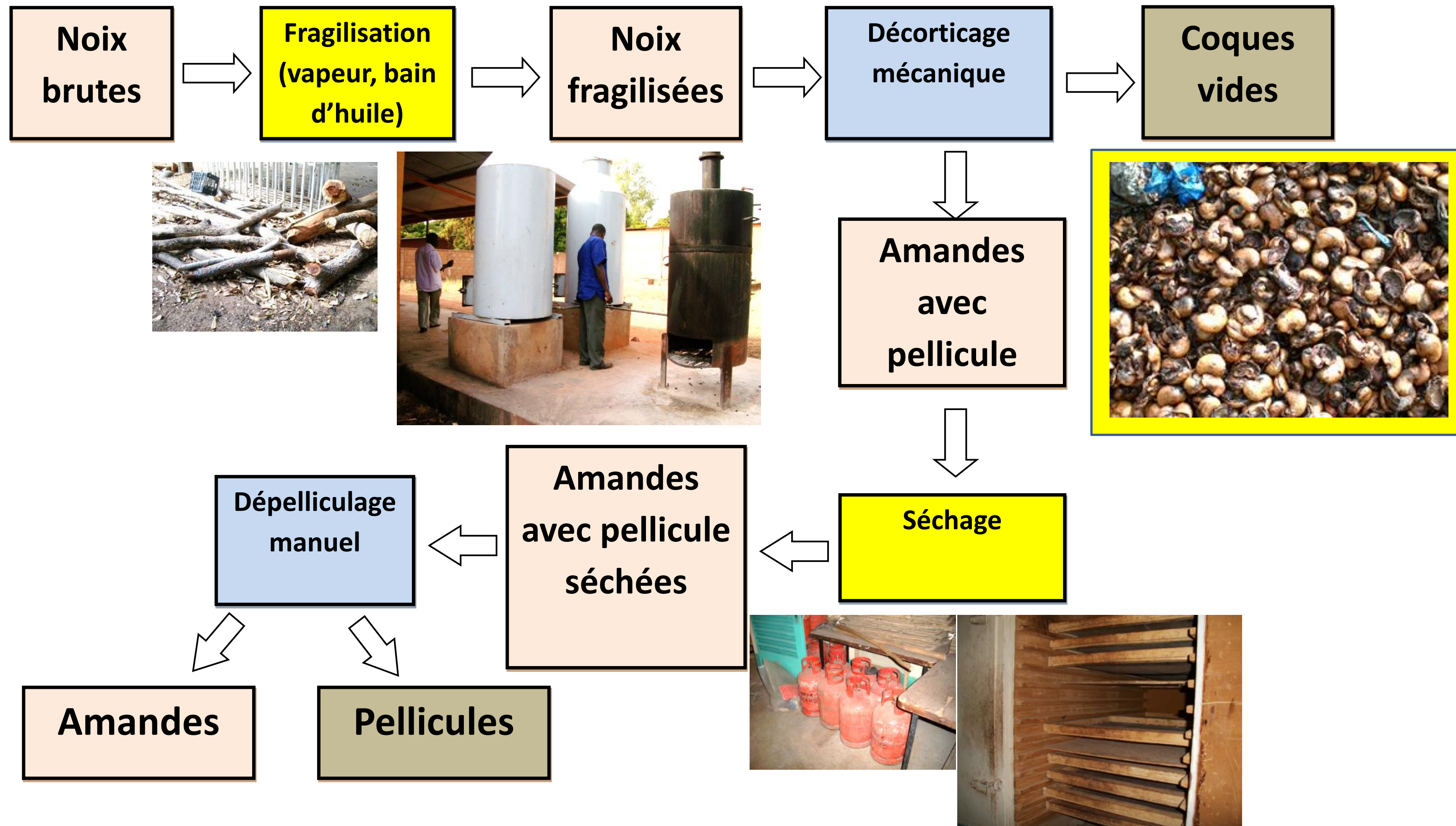
Anacardier, noix d'anacarde et noix de cajou

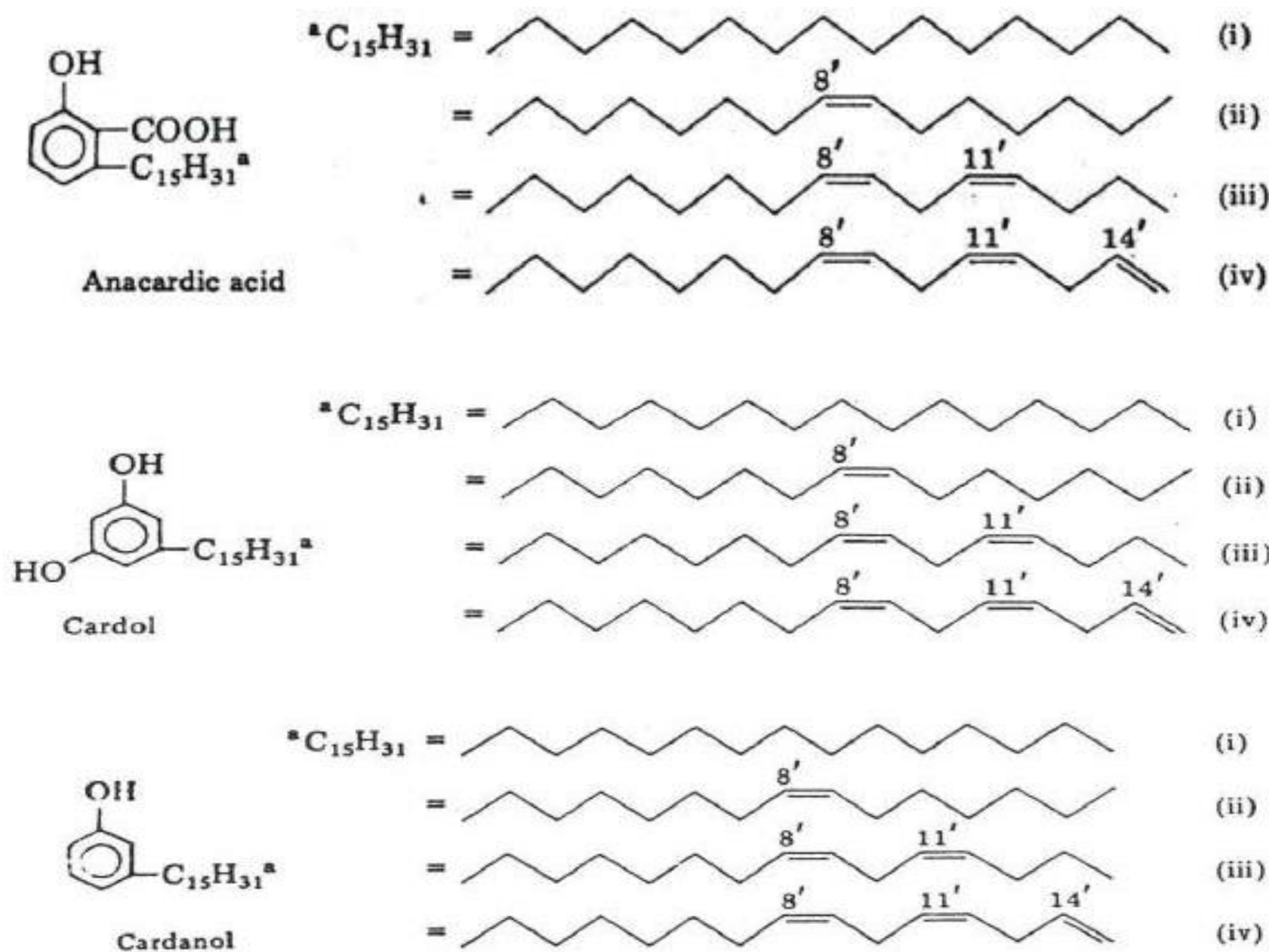


Anacardier :
Zone tropicale humide
Amérique centrale et du
Sud, Inde, Vietnam,
Afrique sub-saharienne
200 à 300 fruits par an



Problématique





Pourquoi ne pas utiliser les coques brutes comme source d'énergie ?

imbibées de CNSL

70 à 90% d'acide anacardique

10 à 18% de cardol

environ 5% de cardanol

Une substance à haute valeur ajoutée mais coûteuse à extraire : se fait seulement à grande échelle à l'heure actuelle, or nous nous intéressons aux petites structures artisanales ou semi-industrielles

Sa combustion dégage des fumées âcres et irritantes. Le stockage des coques entraîne la pollution des sols.



Faute de pouvoir extraire le CNSL, il faut le transformer !

Biodégradation aérobie ? Biodégradation anaérobie ?
Traitement thermique ?

Analyse bibliographique et divers essais réalisés au laboratoire. Choix de la pyrolyse comme filière la plus pertinente dans le contexte choisi.

Pyrolyse = conversion thermochimique endothermique de la matière organique en atmosphère pauvre en oxygène (souvent entre 400 et 600°C).

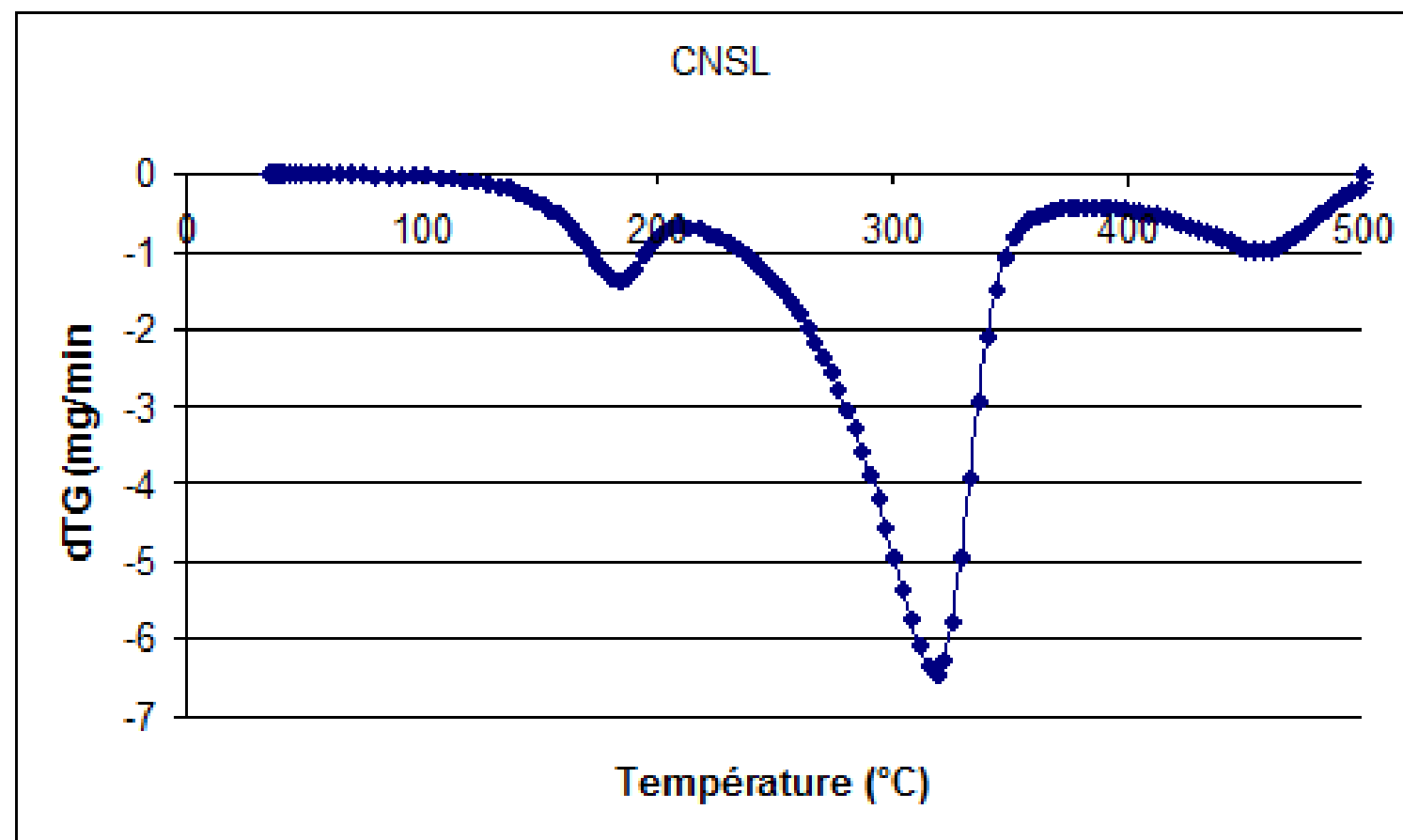
Permet de récupérer du charbon, des huiles, du gaz, dans des proportions variables selon la température et le temps de séjour, sous-produits pouvant être stockés ou valorisés directement.

Mais il faut un dispositif « low tech », peu coûteux en investissement et en fonctionnement, s'inspirant de la fabrication du charbon de bois en Afrique.

Résultats bibliographiques

- ATG sur coques d'anacarde : 77% de perte de masse entre 250°C et 420°C. 2 pics à environ 320°C et 395°C (décomposition de l'hémicellulose et de la cellulose, la décomposition de la lignine ayant quant à elle lieu autour de 500°C) [Tsamba et al, 2006]

- ATG sur CNSL extrait :



Perte de masse lors de la décomposition thermique du CNSL [étude 2IE]

Décomposition en trois phases.

1^{er} pic autour de 180 °C (décarboxylation de l'acide anacardique en cardanol).

2^{ème} pic de 226 °C à 364 °C avec un maximum à 319 °C (plage de température à laquelle la majeure partie des constituants du CNSL se volatilise : 68 %) 3^{ème} pic : volatilisation à 471 °C du cardol restant.

Très peu de travaux sur la production et l'utilisation du char ainsi que sur la combustion in situ des gaz de pyrolyse (condensables et incondensables)

Caractérisation

❑ Caractérisation des coques brutes :

Échantillonnage, broyage, mesures d'humidité, matières volatiles, cendres, carbone fixe, PCS et PCI, C, H, O, N, S et Cl

❑ Essais de traitement thermique

2 essais en réacteur pilote (procédé Biogreen de la société ETIA - Compiègne - France)

2 températures : 250°C (“torréfaction”) et 450°C (“pyrolyse”)

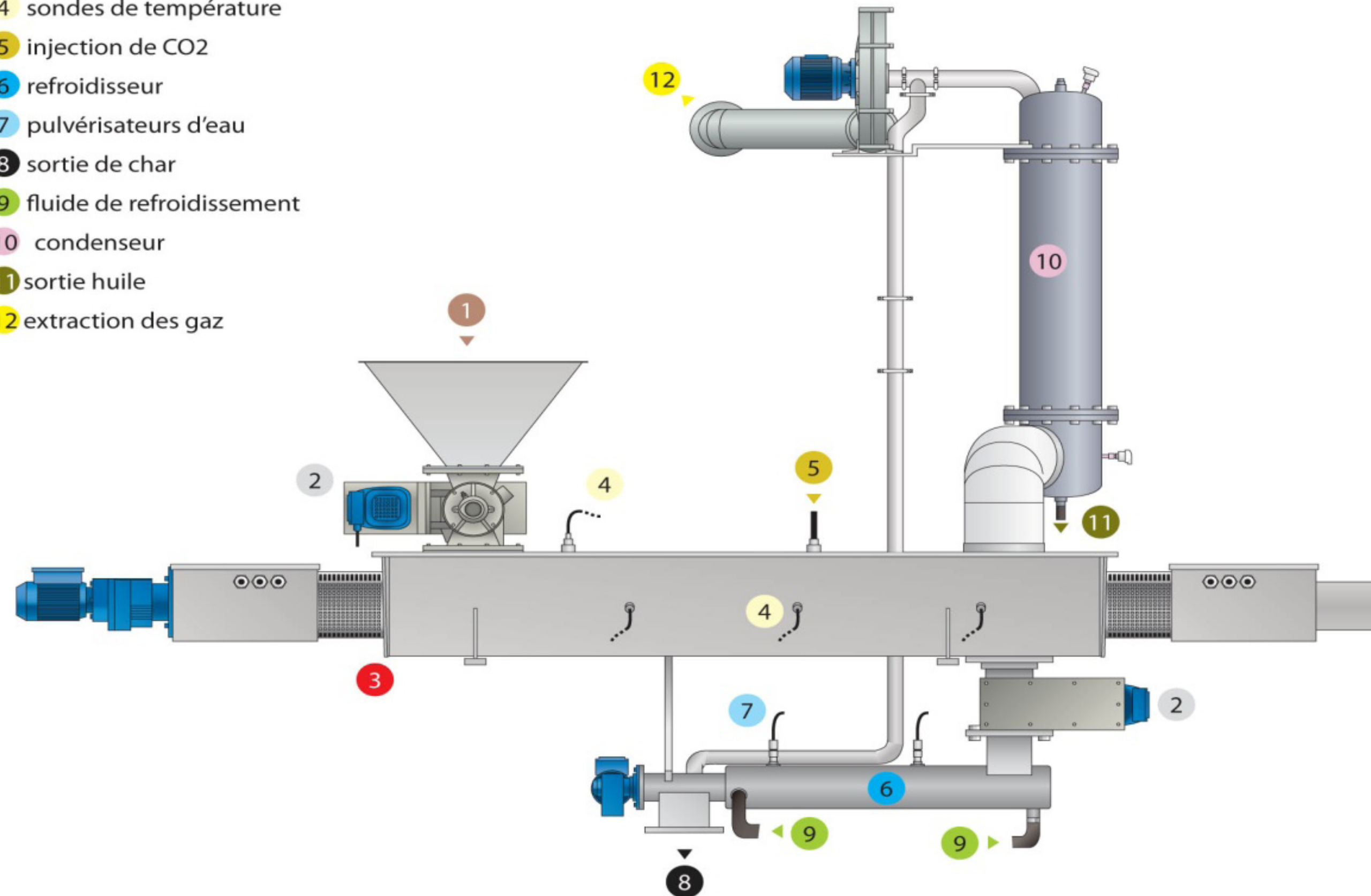
Temps de séjour : 15 minutes, 5 kg/h, 8 kg par essai

Bilan matière chars / condensats, analyse et post-combustion du gaz en sortie

Caractérisation des chars et des huiles : mêmes paramètres que les coques

Pilote Biogreen - ETIA

- 1 trémie
- 2 vanne écluse
- 3 Spirajoule® haute température
- 4 sondes de température
- 5 injection de CO₂
- 6 refroidisseur
- 7 pulvérisateurs d'eau
- 8 sortie de char
- 9 fluide de refroidissement
- 10 condenseur
- 11 sortie huile
- 12 extraction des gaz



Résultats expérimentaux

Caractérisation des coques brutes et des chars



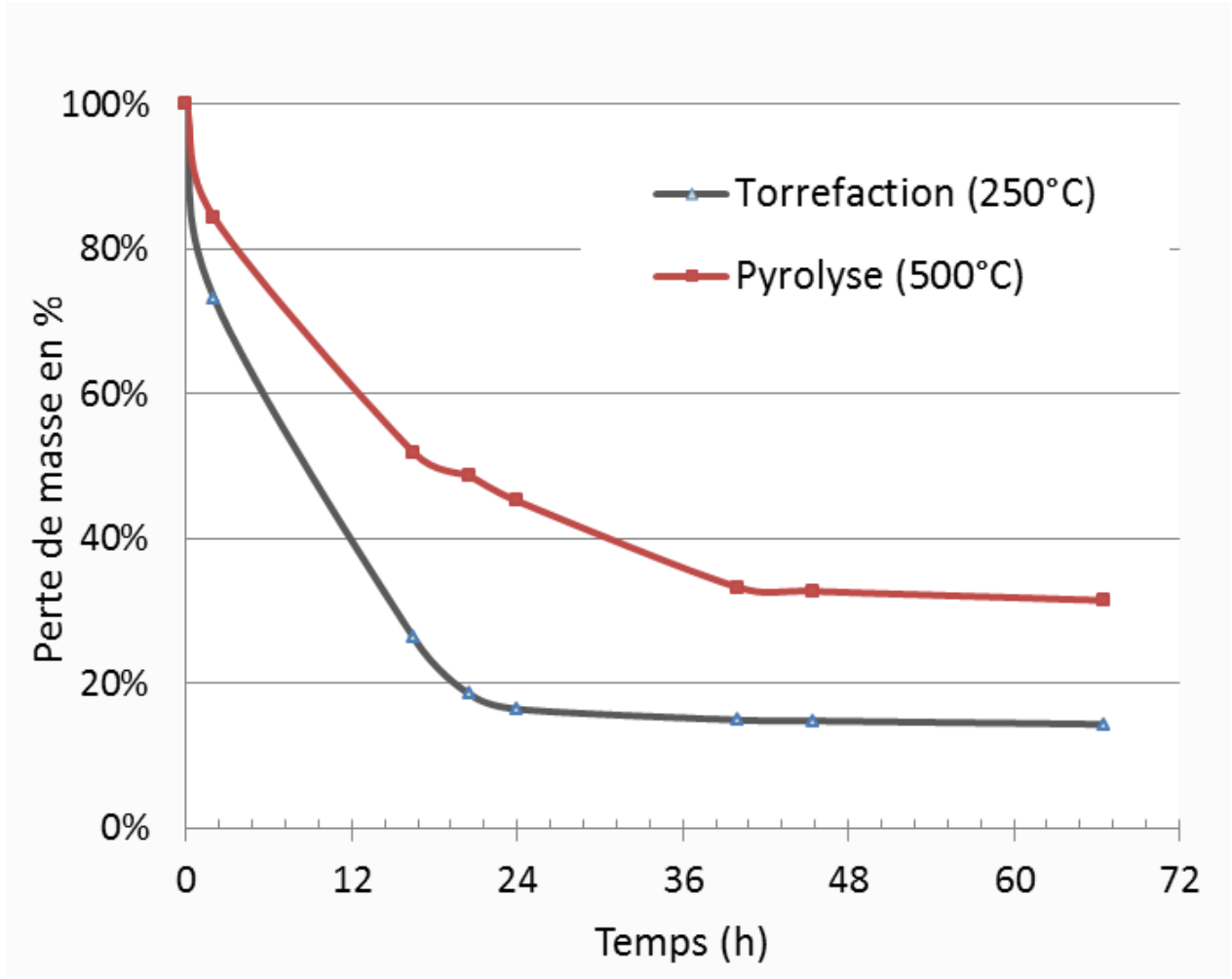
	Résultats en % sur sec hors humidité et PCI										
	Humidité (%)	Matières volatiles	Carbone fixe	Cendres	PCI (MJ/kg)	C	H	O	N	S	Cl
Coques brutes	9,9	81,6	15,8	2,6	21,3	56,4	7,1	33,5	0,6	<0,10	0,01
Char de torréfaction	1,0	64,5	30,8	4,6	24,6	63,0	6,0	25,9	0,7	0,10	0,02
Char de pyrolyse	6,1	27,3	65,3	7,4	27,3	77,7	3,8	10,8	0,9	<0,10	0,03

Analyses : PROVADEMSE, INSA de Lyon

Caractérisation des huiles (condensats)



	Huile torréfaction	Huile pyrolyse
Perte de masse (72h à 105°C)	86%	69%
Taux de matières volatiles	98,7%	99,2%
Taux de cendres sur huile séchée	0,46%	0,30%
Taux de cendres sur huile brute	0,02%	0,04%
PCS (kJ/kg)	surface : 37 752	surface : 37 492
		mélange : 35 063
	fond : 25 354	fond : 26 353
PCI (kJ/kg)	surface : 36 733	surface : 35 911
		mélange : 33 482
	fond : 25 334	fond : 24 772
C	2,7 %	36,4 %
H	4,6 %	7,2 %
S	0,02 %	0,05 %



Perte de masse des huiles à 105°C en fonction du temps

Bilans matière et énergie

TORREFACTION

Produits	Entrée				sortie			
	Masse (kg, %)		Energie (kJ, %)		masse (kg, %)		Energie (kJ, %)	
solide	8	100 %	168 707	100 %	3,9	48,5 %	99 300	58,8 %
liquide	0	0 %	0	0 %	1,1	13,7 %	33 680,9	20,0 %
gaz	0	0 %	0	0 %	3,0	37,8 %	1 196,6	0,7 %
Total	8	100 %	168 707	100 %	8	100,0 %	134 177,5	79,5 %
bilan	-				0,0%		- 20,5 %	

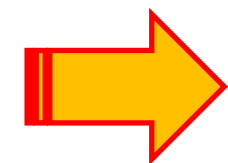
PYROLYSE

Produits	Entrée				sortie			
	Masse (kg, %)		Energie (kJ, %)		masse (kg, %)		Energie (kJ, %)	
solide	8	100 %	168 707	100 %	1,36	17,0 %	36 964	21,9 %
liquide	0	0 %	0	0%	3,8	47,5 %	127 790	75,7 %
gaz	0	0 %	0	0%	2,84	35,5 %	6 599	3,9 %
Total	8	100 %	168 707	100 %	8	100,0 %	171 353	101,5 %
bilan	-				0,0 %		+ 1,5 %	

Premiers enseignements

- Différences importantes dans les sous-produits obtenus vers 250°C et vers 450°C.
- Bilan matière et énergie : la pyrolyse privilégie la production d'huiles à fort pouvoir calorifique alors que la torréfaction privilégie celle de charbon.
- PCI des huiles élevé, proche de celui des produits pétroliers (possible champ de valorisation en mélange avec des carburants par exemple, sous réserve de l'étude de son comportement en combustion dans des moteurs).
- Gaz incondensables produits dans les deux cas faiblement calorifiques.

Quelle température ? Dépendra notamment de la possibilité ou non de valorisation énergétique directe des gaz (avant condensation) et de la qualité des fumées de combustion des chars et des huiles éventuelles obtenues (si les gaz sont condensés et non brûlés).

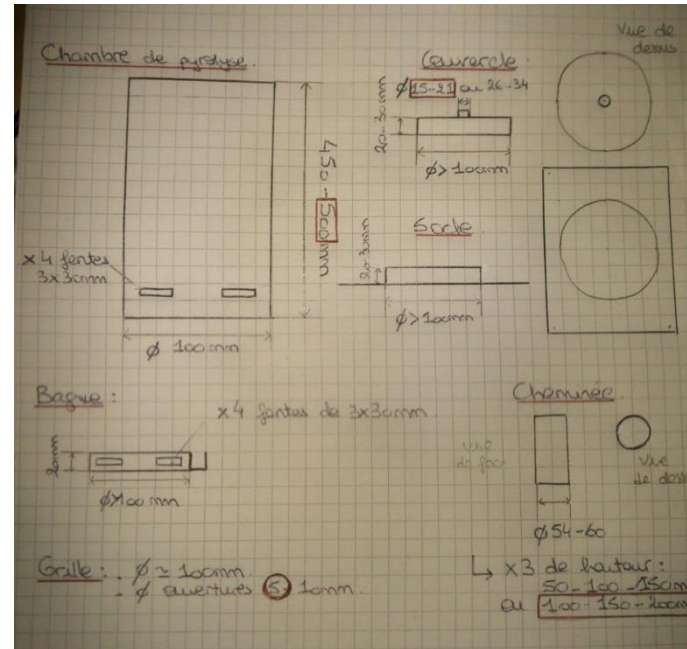


Nécessité de construction d'un réacteur de laboratoire:

- **affiner les réglages** (entrée d'air, mode de remplissage, évacuation des fumées,...)
- **avoir les informations pour** passer à un pilote semi-industriel rustique
- **analyse des fumées** de combustion des coques brutes, des chars (de pyrolyse et de torréfaction) et des gaz après post-combustion.

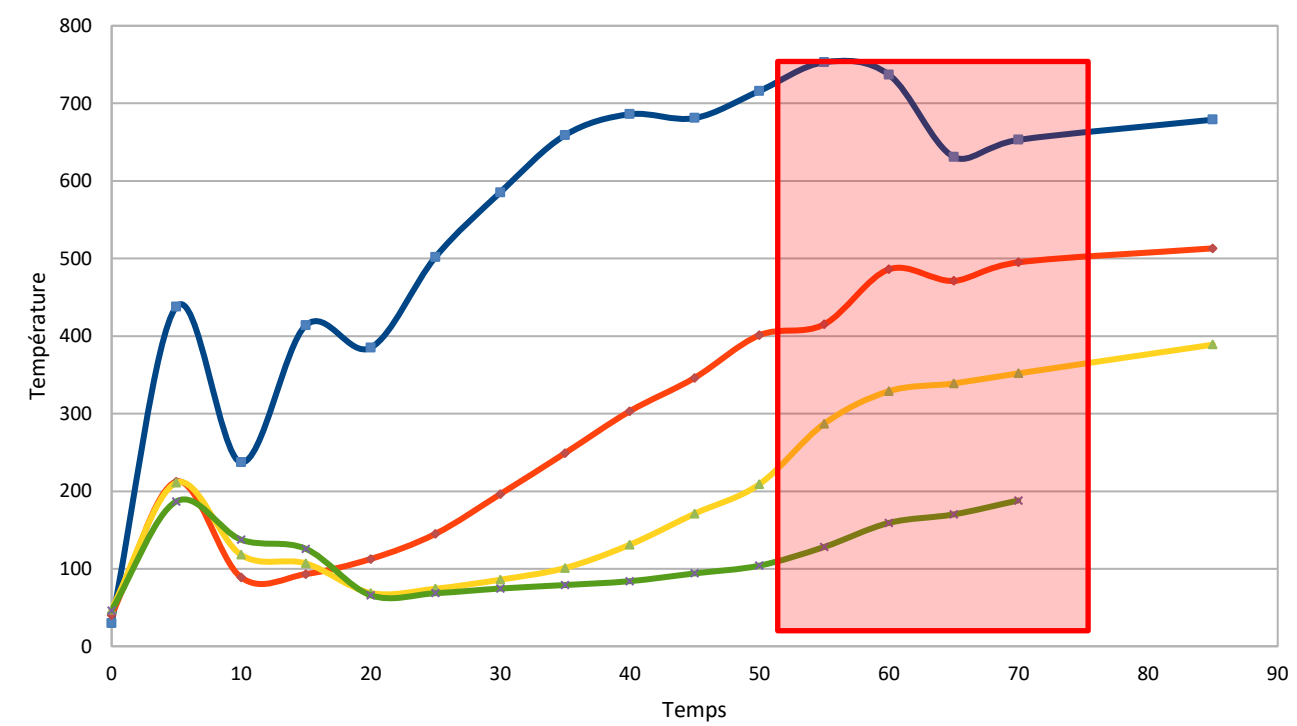
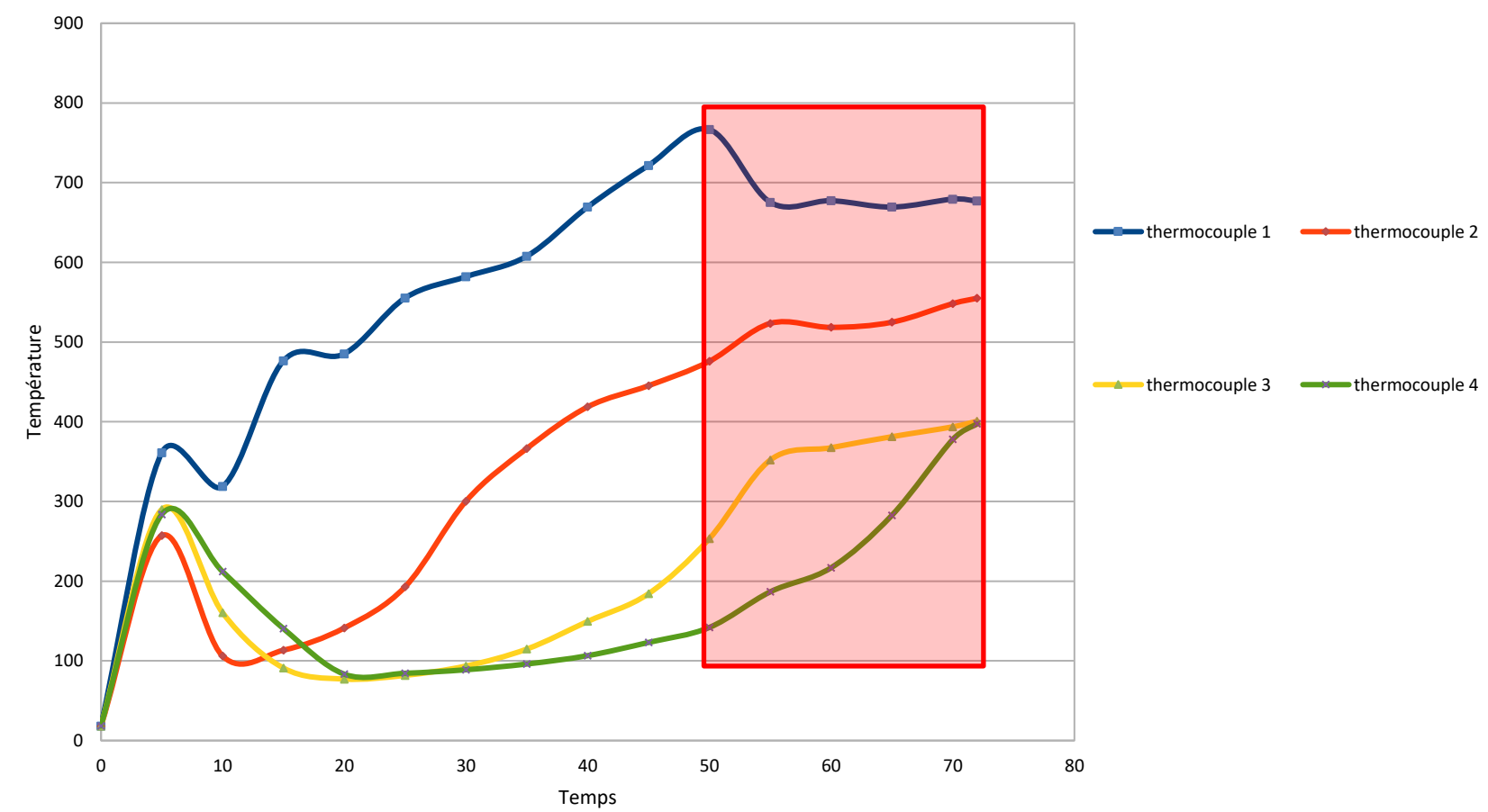
Conception et fabrication prototype

Objectif: concevoir un réacteur rustique facilement répliquable dans le contexte local des pays du Sud (faible coût, facilité de maintenance, etc...)



Quelques pièces détachées du prototype de laboratoire. Coût : 50 €

ESSAIS SUR PROTOTYPE : (PROVADEMSE – INSA Lyon)



3. Pilote semi-industriel

Conception du réacteur

Identification
équipementiers
(SOAF)

Suivi de la
construction

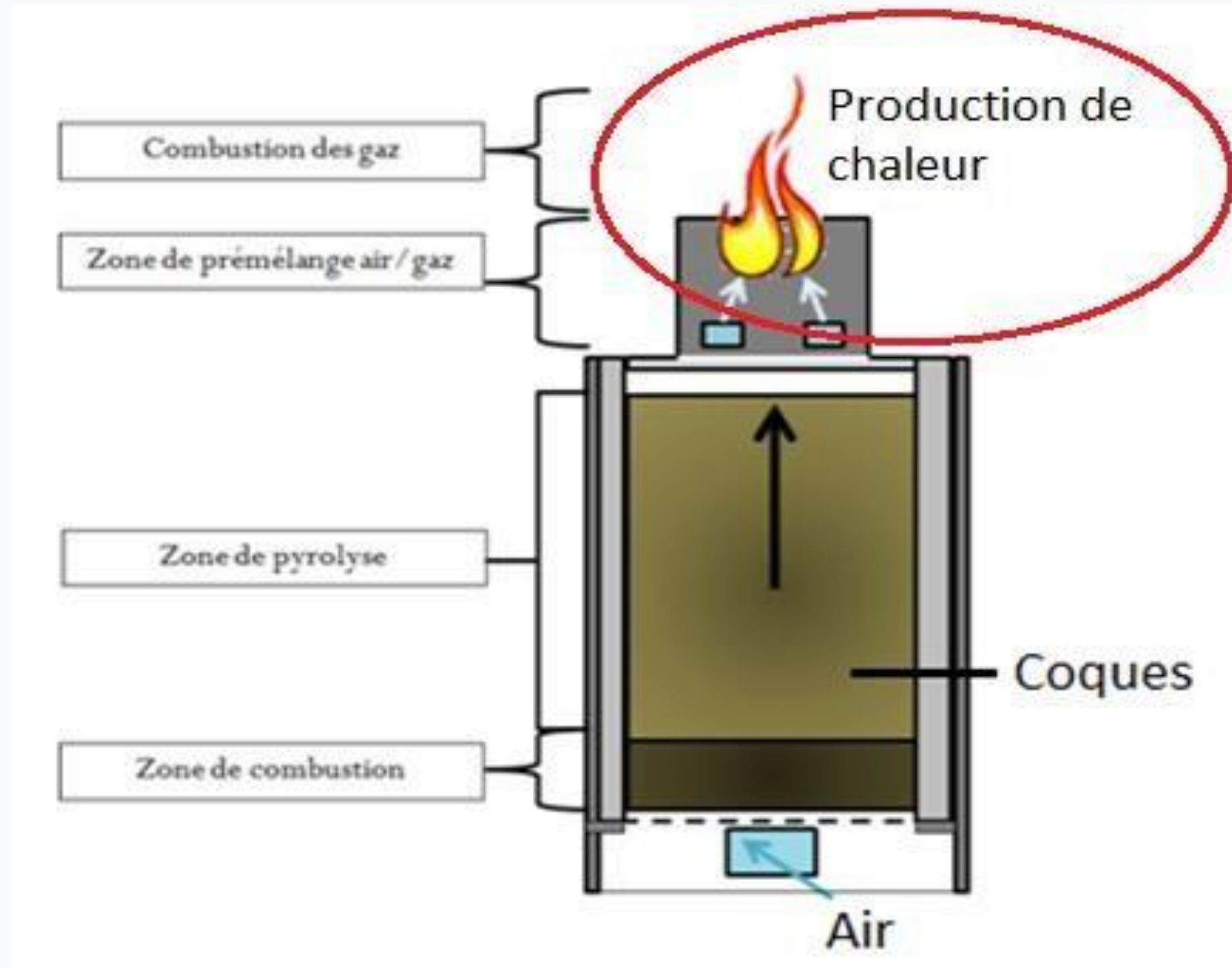
Installation et
essais à vide

Intégration dans la
chaufferie



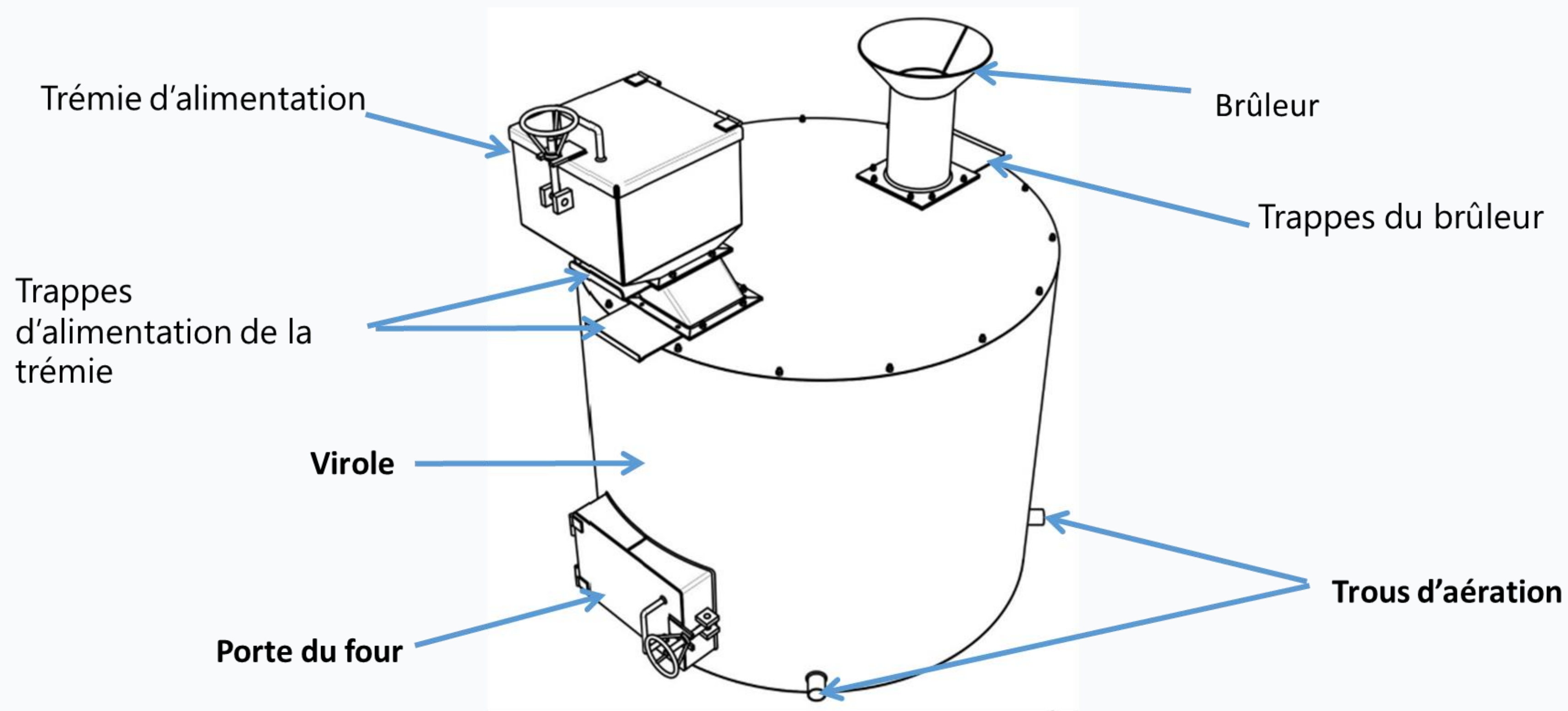
Une solution pour les transformateurs semi-industriels

- Permet la conversion thermochimique des coques d'anacarde :
 - Gaz combustible
 - Charbon combustible
- Traitement adapté et à bas coût des coques d'anacarde
- Fabrication 100% locale



Une solution pour les transformateurs semi-industriels – peu d'évolutions

La majorité des éléments du four sont fabriqués dans des tôles en acier de 3 et de 5 mm d'épaisseur



4. Du pilote à la diffusion géographique et sectorielle

3 modes de diffusion:

Projets Nitidæ

Cajouvalor, financé par région AURA, Burkina-Faso
Kenebio, financé par AFD, FFEM, Burkina Faso
Agrovalor CI, financé par AFD, Côte d'Ivoire
Promove, financé par GIZ, Mozambique

Prestations

2 fours pour le Procad, Bénin
1 four pour Ethicable, Sénégal
1 chaufferie complète pour agroplateforme, Mali
1 chaufferie pour Sahanala, Madagascar

Diffusion endogène

Pour transfo anacarde au Burkina-Faso, Côte d'Ivoire, Bénin
Pour séchage de mangue au Burkina Faso
Pour trituration huiles au Burkina Faso

4. Du pilote à la diffusion géographique et sectorielle

Quels ont été les moteurs du déploiement à large échelle?

1. Assimilation de la technologie par l'ONG, l'équipementier et l'opérateur
 - Implication sur la construction et les essais
 - Répliques rapides dans la même zone de projet
2. Effort de création d'un environnement favorable
 - Animation d'un réseau (centre de recherche, technicien, opérateurs...)
 - Formation de nouveaux équipementiers
3. Communication
 - Autour du prix Suez : **Prix SUEZ Initiatives – Institut de France**
 - Participation au SIETTA **Lauréat catégorie "Accès aux Services Essentiels"**
 - Site internet et réseau interne ONG **Edition 2015-2016**
4. Capacités d'expérimentation et de démonstration : plateforme d'essais

4. Du pilote à la diffusion géographique



5. Trajectoire de Développement du pyrolyseur au Bénin : Transfert de la technologie, Utilisation et Retour d'expérience

Trajectoire de Développement du pyrolyseur au Bénin



Formation des utilisateurs



Installation des pyrolyseurs

Volume interne du réacteur	780 litres
Masse de coques pyrolysées par jour	130 kg
Durée de la flamme de post-combustion	4h 20 min
Quantité estimée d'énergie libérée par cette flamme	1837 MJ (*)
Puissance estimée de la flamme	118 kW
Quantité de noix fragilisée avec l'énergie produite	1280 kg
Durée de la fragilisation	1h30
Quantité d'amandes précuites avec l'énergie produite	240 kg
Masse de charbon produit	23 kg

Le Centre Congolais pour la production de jus de fruits

Difficulté de chargement : Réalisation d'une transporteuse à bande liée au pyrolyseur

Chercheur Equi

chercheurs locaux, artisans, Industriels

Retour d'expériences

Année

2013

2014

2016

Trajectoire de Développement du pyrolyseur au Bénin

Actions

Parties prenantes

Etapes

Année

Oct. à Déc. 2013 :
Etude des possibilités de valorisation des coques d'anacarde issues des unités de transformation du Bénin

Rédaction du Projet avec Validation des bénéficiaires

Restitution et Validation de l'Etude du Besoin

- Etude technique de machines existantes;
- Evaluation des besoins et renforcements de capacité au niveau des équipes
- Définition du Cahier des Charges du pyrolyseur
- Elaboration du dossier de fabrication
- Etude du Transfert de compétence

Etude de faisabilité de la production d'électricité à base du pyrolyseur

Pénibilité de manipulation de la trappe : Conception d'un Système automatique des Trappes

Difficulté de chargement : Réalisation d'une transporteuse à bande couplée au pyrolyseur

Chercheurs locaux, Equipementiers, Industriels

Chercheurs locaux, Industriels

Consultants (CEFREPADE, Nitidae), Chercheurs locaux, Industriels

Consultants, Chercheurs locaux, Equipementiers, Industriels

Identification du Besoin

Montage du Projet en collaboration avec les industriels

Transfert de la technologie

Utilisation

Réplicabilité

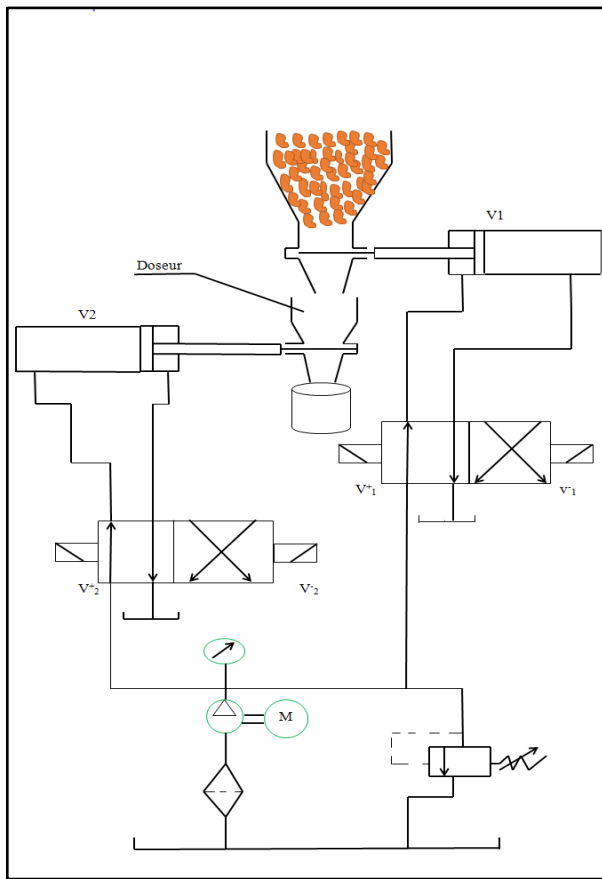
Retour d'expériences

2013

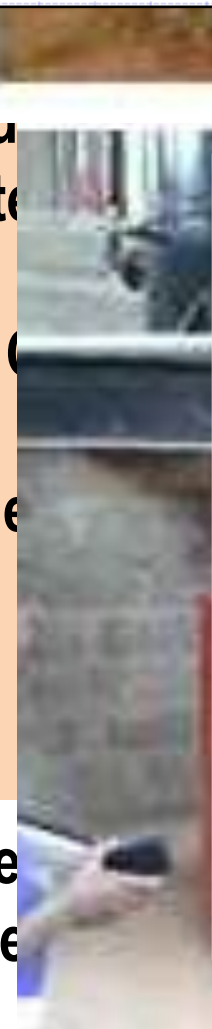
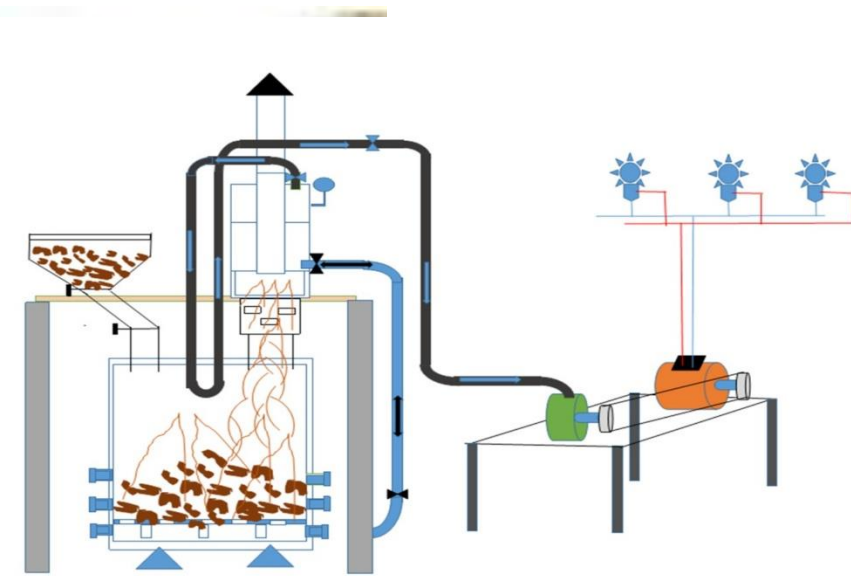
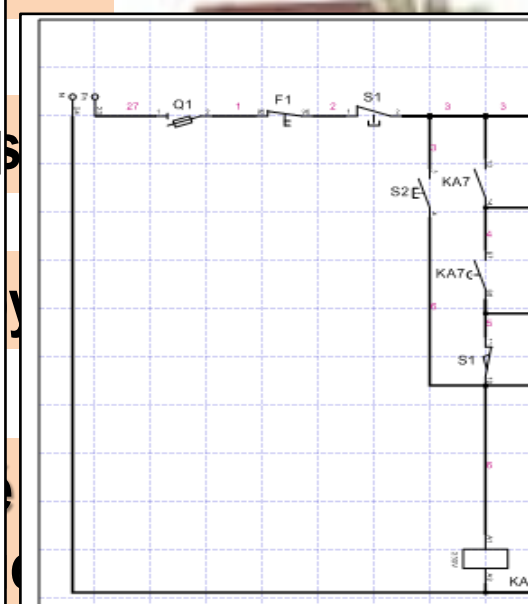
2014

2015

2016



s utilisateurs



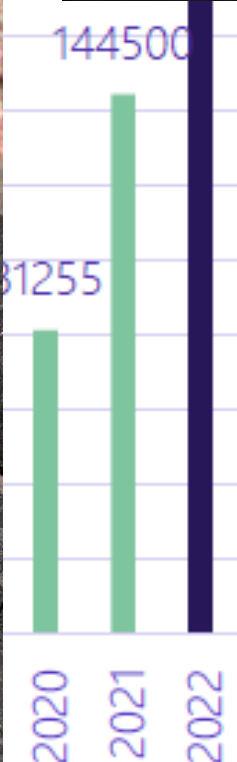
6. Quel avenir pour cette technologie



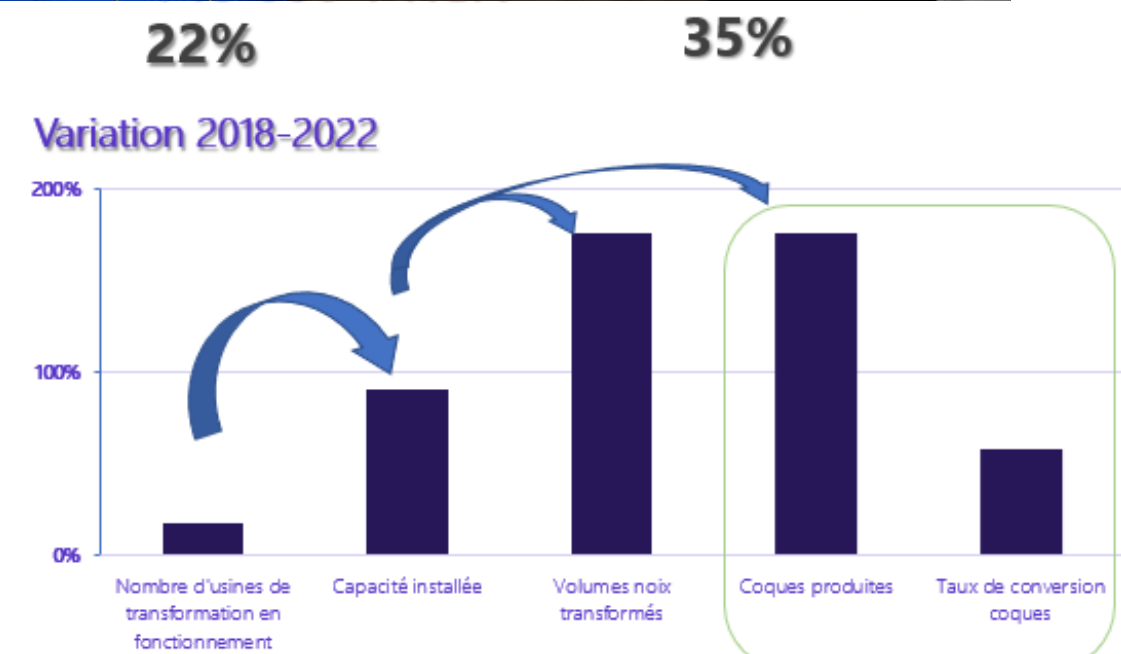
sana
nque
e leu
nich
acité
eur d
ire.



es



• Taux de conversion coques





Session thématique: Déploiement à grande échelle des technologies développées au niveau local

Histoire complète du pyrolyseur d'anacarde à travers les frontières : genèse, défis, avenir

Pascale MARTEL-NAQUIN, Présidente, CEFREPADE

Pr. Thierry GODJO, Vice-recteur, UNSTIM Benin

Étienne PERRIER, chargé de projet énergie, Nitidæ

