

Valorisation énergétique des fibres naturelles :

Développement de granules biocombustibles améliorées



École de génie

Candidat à la

Maîtrise en ingénierie

**Laboratoire de biomatériaux
de La Sarre**

16^{eme} colloque de AFD
le 27 novembre 2014, à Amos

William BELHADEF

sous la direction de
Pr. Ahmed KOUBAA

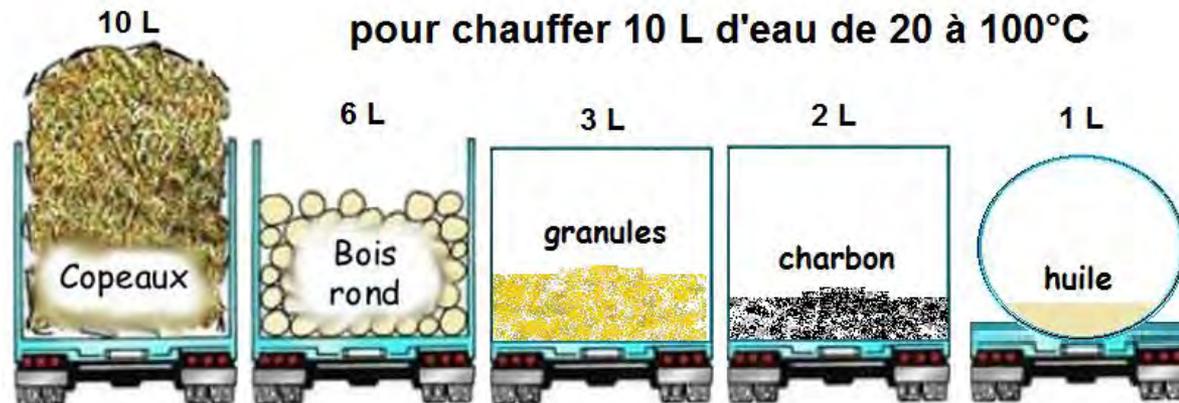
la granule

biocombustible solide



Avantages apportés:

- densité en vrac (kg/m^3)
- combustible homogène – brûle de façon constante
- manutention plus simples (transport par convoyeur à vis, aspirations...)
- ...



→ *idéale pour les chaudières à alimentation automatique*

sources: dessin modifié de Nilson – 1983 ; MRNF ressources naturelles et faune du Québec - 2011

les granules au Canada et dans le monde

2013 - 2014

Au Canada:
1,6 millions de tonnes

90% des granules du pays
partent par bateau



Silos du port à Québec

En Europe:
19 millions de tonnes consommées

25 millions dans le monde

prix – env **180\$/t** au port des Pays-Bas
transport: 20 - 35 \$/t par bateau

sources: Wood Pellet Association of Canada – photo du journal Le Soleil – Biomass market Argusmedia.com juil 2014

pour qui, pour où...

Centrales à biomasse - granules		Puissance électrique MW élec
Au Amérique du Nord	Atikokan - Ontario	200
Au Royaume-Uni	Selby - Angletterre	3 x 630
En Europe	Aarhus - Danemark	585 + 350 + 392
	Langerlo - Belgique	400
	Ghent - Belgique	200

Producteur d'énergies:

- **\$/MWh énergie**
- **kg CO₂ /t** transportée
- **MJ /t-km** ou **\$/t-km** de transport



objectif

Produire des granules de qualité
avec un pouvoir calorifique supérieure:

bouleau blanc + graines de canola

Buts fixés:

1. Instrumenter une petite granuleuse commerciale en une granuleuse de laboratoire
2. Suivre un plan d'expérience pour mélange et trouver les meilleures conditions opératoires

« de qualité » - nos cibles

	Copeaux de bois	notre granule		Granules de bois torréfiées	Charbon de bois	Charbon fossile	Huile de canola
		bouleau	graine de canola				
Humidité %	30 - 55	7-10	8-9	1 - 5	1 - 5	10 - 15	-
Densité en vrac Kg/m3	200 – 300	550-650	650	650 - 800	180 - 240	800 - 850	915
Pouvoir calorifique (PCS) MJ/kg	7 - 12	18-20	27	18 - 24	30 - 32	23 - 28	39
Densité énergétique MJ/L	1.4 – 6	8-11	18	12 - 19	5 - 8	18 - 24	32 - 34

correspond à un mélange 15-20% de graines

sources: SECTOR - MRNF

cibles: aspect mécanique et physique

Exemple d'une norme d'Europe – granules à usage industriel

Parameter	Type of combustion installation				
	Stove	Boiler	Large boiler	Incinerator	
Physical	Diameter (mm)	6 ± 1	8–10 ± 1	>16	>16
	Length (mm)	10–30	10–15	>16	>16
	Bulk density (kg/dm ³)	>650	>650	>580	>580
	Particle density (kg/dm ³)	1.2–1.4	1.2–1.4	–	–
Chemical	Moisture content (%)	<10	<10	–	–
	Ash content (%)	<10	<10	–	–
	Heating value (kcal/kg)	>4052	>4052	–	–

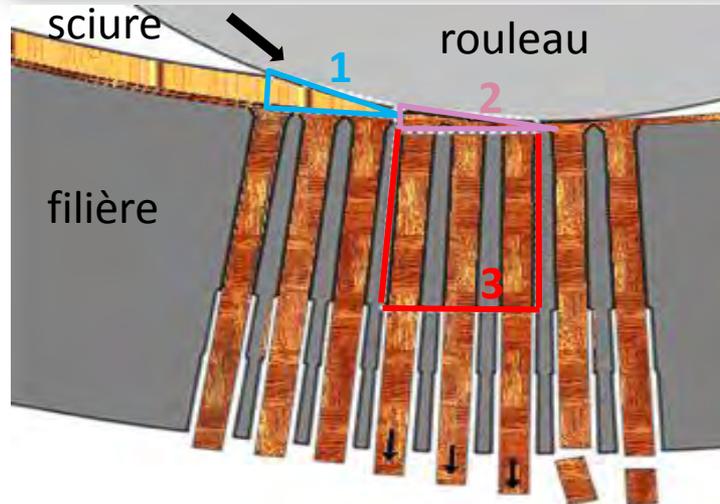
source: Garcia-Maraver - 2011

principe de la granulation

filières de 15 cm de diamètre
100 trous de 6 mm



différentes épaisseurs
=
compressions différentes



trace sous le rouleau



dessous

recherche bibliographique

Caractéristiques importantes

- humidité de la granule,
- résistance à l'abrasion,
- pouvoir calorifique,
- ...

Paramètres opératoires

- la température,
- l'humidité de la matière première,
- la géométrie de la filière,
- ...

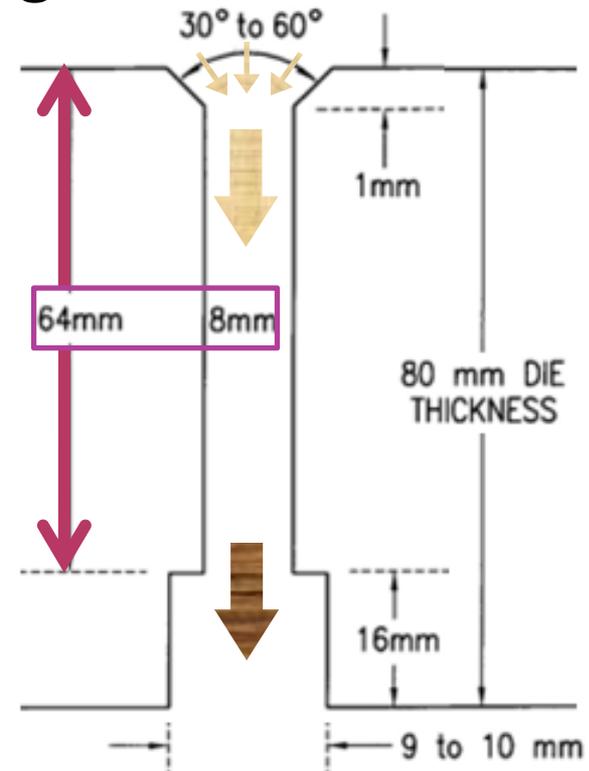
exemple: la géométrie de la filière...

Épaisseur de la filière

- trop mince: granule pas assez dure
- trop large: risque de blocage

pour des granule de 6 mm de diamètre

Mélange ou produit	Épaisseur de la filière
Graines de maïs	72mm
Alfalfa (herbes)	42mm
Bois résineux	30mm
Bois durs	42 mm
Paille de blé	66 mm



sources: Leaver -1982; Ryder-2011; Stelte-2012; brevet US-2005.0230872

montage de la granuleuse

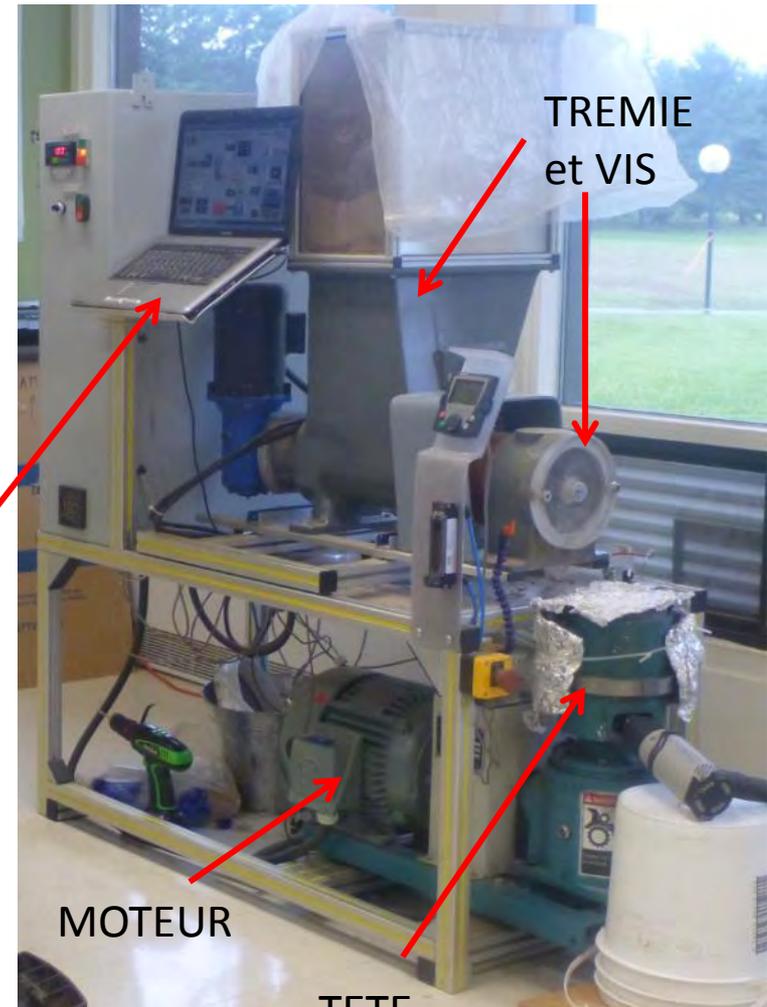
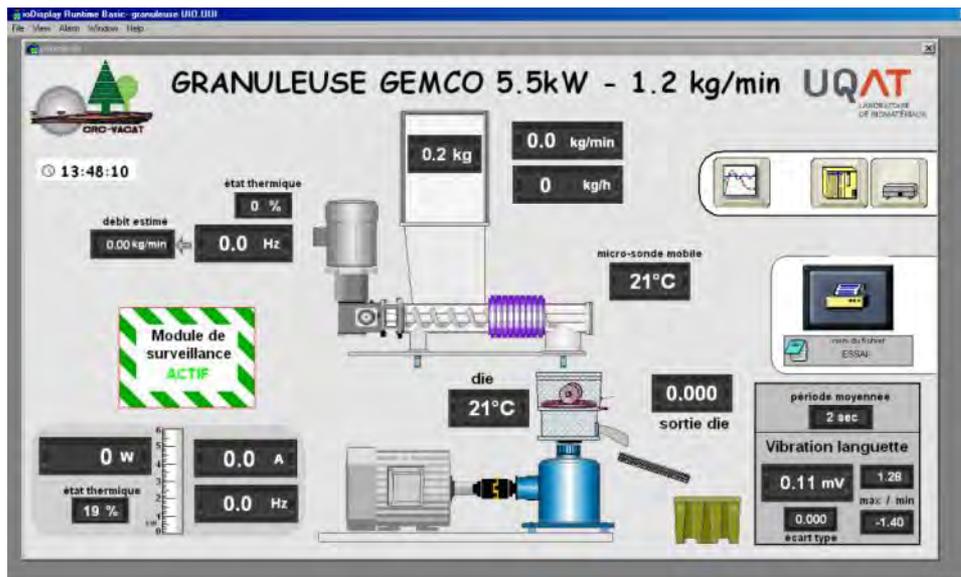
Granuleuse de laboratoire

Capacité 50-90kg/h

Moteur 5,5 kW

Trémie chauffée

Acquisition des données sur PC



MOTEUR

TETE

GRANULATION

exemples de mesure

Résistance à la flexion 3 points



Résistance à la compression
diamétrale



exemples de mesure (suite)

Force avant éjection de la filière

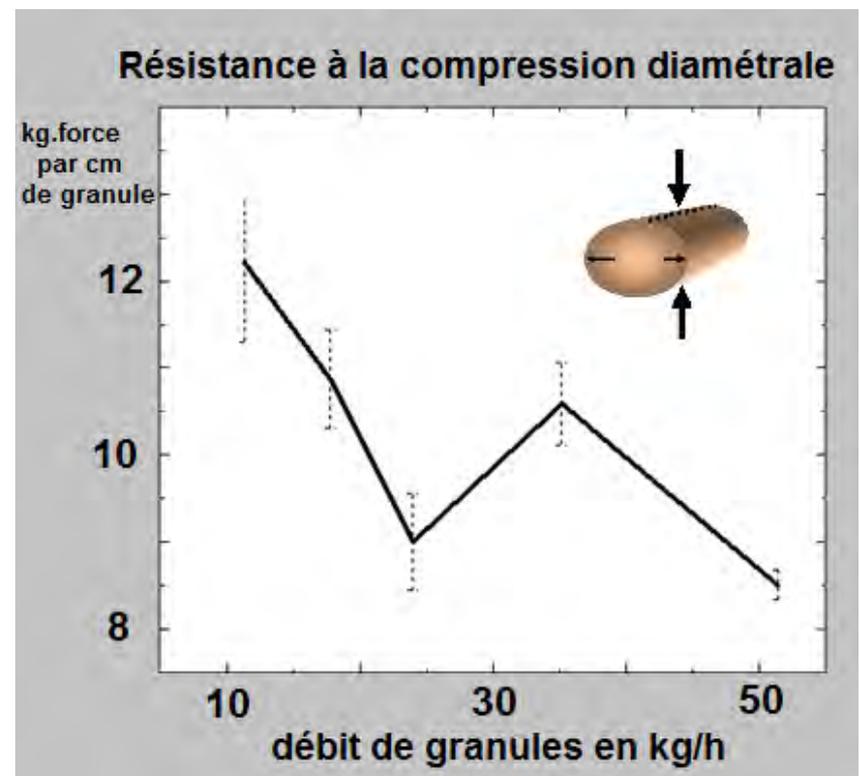
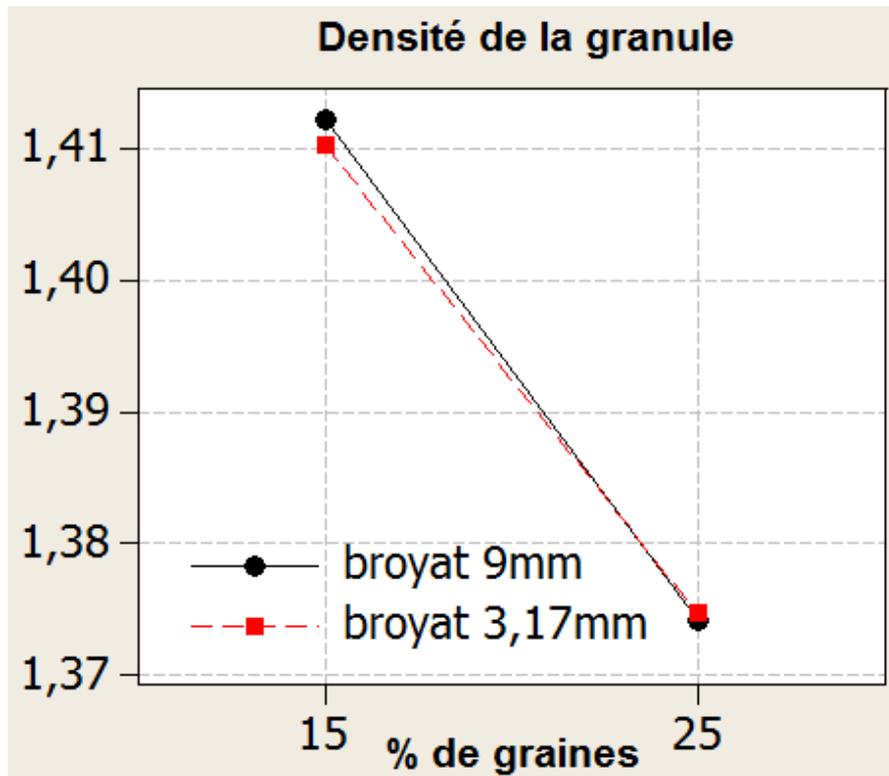


Test d'abrasion des granules

essais exploratoires

Quelques essais pour:

- cerner les domaines de concentrations en graine et en humidité,
- voir les influences de la granulométrie et du débit d'alimentation...



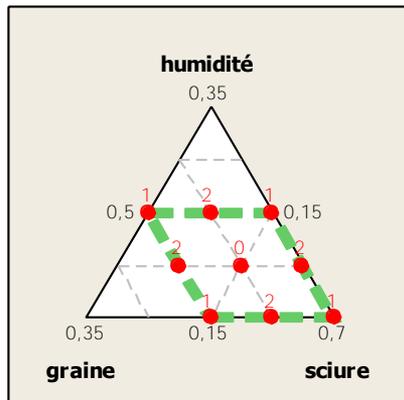
construction du plan d'expérience

Choix:

plan d'expérience par des surfaces de réponses pour mélange

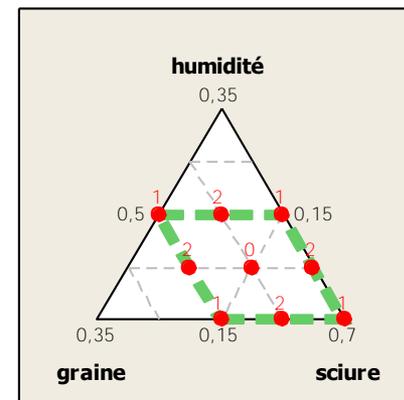
- filière d'épaisseur de 50 mm
- alimentation à 80°C du mélange
- granulométrie: taille de 0.5 à 1.4 mm

Débit 12 kg/h



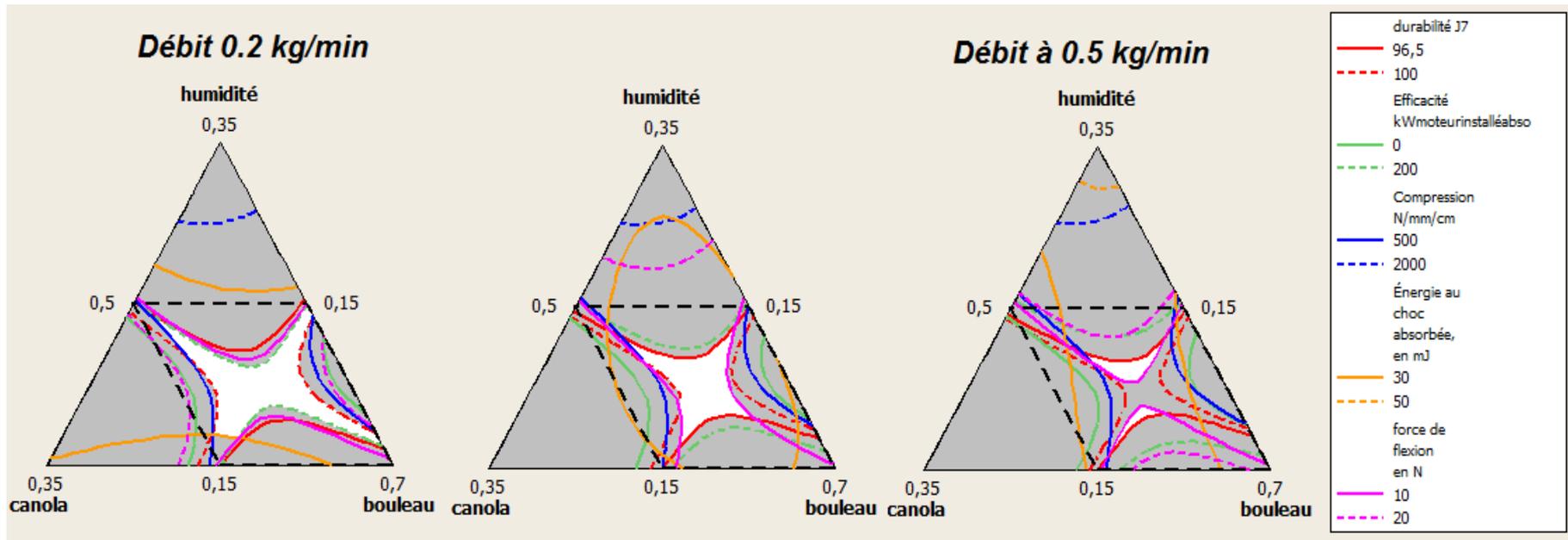
+

Débit 30 kg/min



interpolation/extrapolation des mesures
aux points expérimentaux

résultats du plan d'expérience



Exemple d'utilisation:

représenter des iso-courbes pour des valeurs minimales désirées

- durabilité – test d'abrasion >96.5%
- compression > 500 N/mm déformations / cm
- résistance au choc > 30 mJ absorbée
- force de flexion > 10 N

granule améliorée ?

formulation	eau	graine	résistance à l'abrasion en %	humidité % (base humide) après 7 jours	pouvoir calorifique MJ/kg (base sèche)
débit 12 kg/h	15%	15%	92	8 à 11	22 à 23
	25%	25%	97		
	20%	25%	98		
	20%	20%	98		
débit 30 kg/h	15%	15%	71		
	15%	25%	97		
	25%	25%	89		
	20%	15%	95		
	20%	20%	98		
norme (exemple)		limites	>97,0		
sciure de bouleau blanc				14	20
graine de canola broyée				4	28
huile de canola				-	39

Littérature: bouleau blanc
granule de bois torréfié

18.8 - 20.8 MJ/kg
18 – 24 MJ/kg

conclusion

Granule de qualité à partir d'un mélange de

15-20% de graines

15-20% d'humidité

avec une filière de 50 mm d'épaisseur

temps de séjour dans la filière: 25 sec min

- ✓ **Pouvoir calorifique amélioré de 10 % par rapport à des granules génériques: 22 kJ/kg contre 20 kJ/kg**

Inconvénient

- la granule s'équilibre vers 10% d'humidité – Seuil des normes
→ risque de moisissures

Valorisation énergétique des fibres naturelles: Développement de granules biocombustibles améliorés à base de bouleau blanc et de graine de canola

un merci pour l'aide
apportée par

CFNO

CTRI

Les Œufs Richard



Merci
questions ?