Système énergie / environnement

Le cas du Rhône genevois : bois flottants

9 novembre 2006

Pierre-Alain Viquerat
CUEPE
Université de Genève
1227 CH - Carouge

Sommaire

1. Relations Rhône-infrastructures-ressources

2. Ressources en « bois-énergie »

3. Valorisation thermique du bois flottant

    3.1. Problématique

    3.2. Méthodologies

    3.3. Résultats

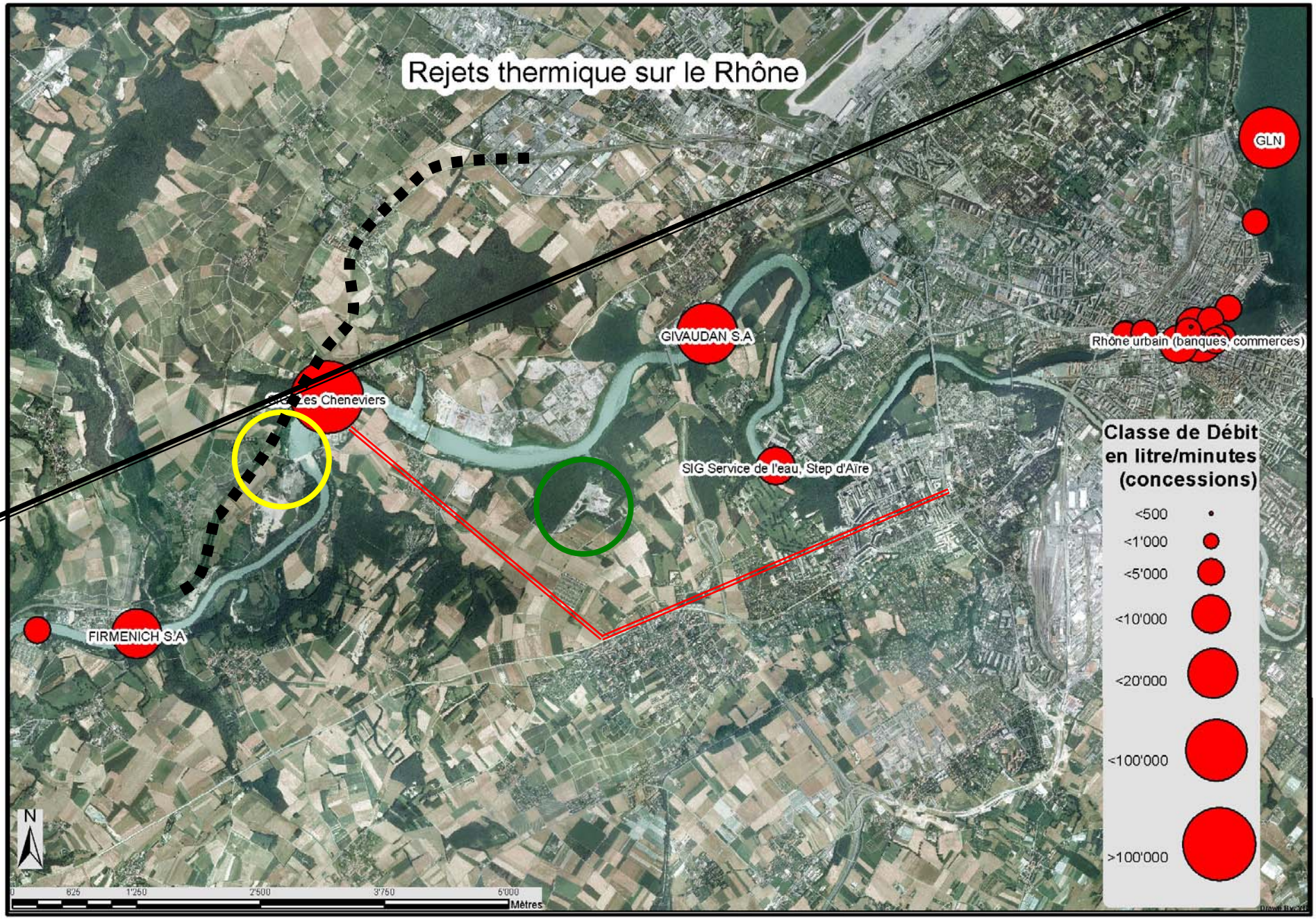
    3.4. Perspectives

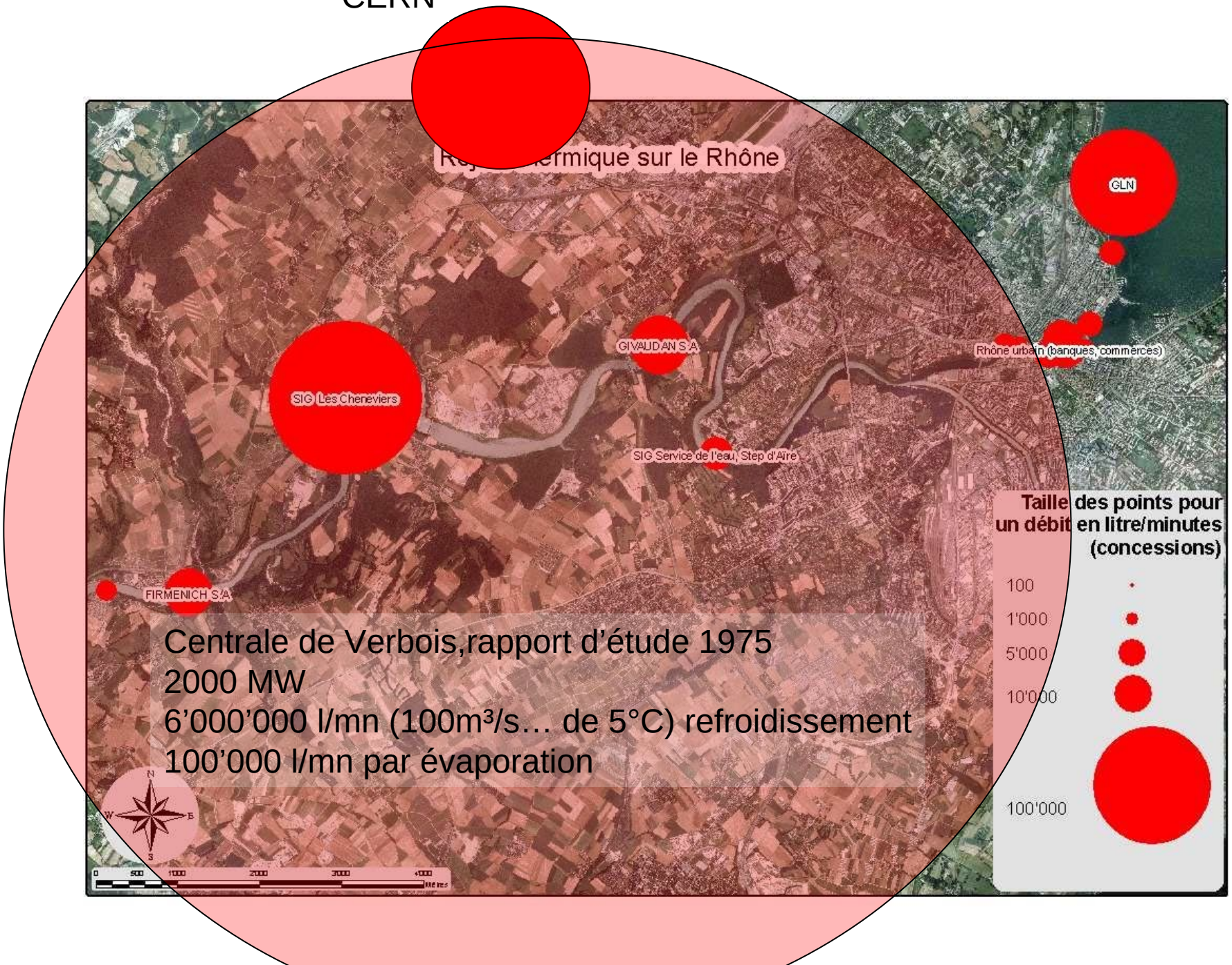
4. Bibliographie

1. Relations Rhône-Infrastructures-Ressources

Concentration d'infrastructures :

- Axes de transport : fleuve, routes, chemin de fer,
- Installations de production énergétique : barrage de Verbois et Chancy-Pougny, UIOM des Cheneviers et Site de Châtillon,
- Installation de traitement de déchets : UIOM deS Cheneviers et Site de Châtillon,
- Présence de ressources « bois-énergie » ou apparentées dans la région.


Rejets thermique sur le Rhône
GLN
GIVAUDAN S.A
Rhône urbain (banques, commerces)
Les Cheneviers
SIG Service de l'eau, Step d'Aire
FIRMENICH S.A
Classe de Débit en litre/minutes (concessions)
<500
<1'000
<5'000
<10'000
<20'000
<100'000
>100'000
N
0
625
1'250
2'500
3'750
5'000
Mètres


CERN
GLN
GIVAUDAN S.A
Rhône urbain (banques, commerces)
SIG Les Cheneviers
SIG Service de l'eau, Step d'Aire
FIRMENICH S.A
Taille des points pour un débit en litre/minutes (concessions)
100
1'000
5'000
10'000
100'000
Centrale de Verbois,rapport d'étude 1975
2000 MW
6'000'000 l/mn (100m³/s… de 5°C) refroidissement
100'000 l/mn par évaporation

2. Ressources en « bois-énergie » → POTENTIEL

Ressource potentielle	Provenance	Quantité [tonne$_{anhydre}$]	PCI [MJ/kg$_{anhydre}$]	Energie [MWh]
Bois flottant	Verbois	500	16.8	2’340
Souches	Châtillon	260	18.2	1’350
Refus de compost 10-40 [mm]		780	17.0	3’750
Refus de compost 40-80 [mm]		720	18.6	3'720
TOTAL		**2’260**		**11’160**

2. Ressources en « bois-énergie » → SITUATION ACTUELLE

Bois flottants : incinération aux Cheneviers (déchet, 173 chf/t)

Souches : combustible chaudière à bois de l'Ecole de Lullier

Refus de compost 10-40 [mm] : amendement agricole et incinération au Cheneviers (déchet, 173 chf/t)

Refus de compost 40-80 [mm] : amendement agricole et incinération aux Cheneviers (173 chf/t)

Forêts cantonales : gestion non-optimale, pas orientée « bois-énergie »

INSATISFAISANTE

Qualité de la ressource ?

3. Valorisation thermique du bois flottant

3.1. Problématique → CONTRAINTES

<u>Contrainte légale</u> : art. 41 LEaux

[1]Celui qui exploite ou ouvrage de retenue a l'interdiction de rejeter en aval les détritus flottants recueillis en amont. L'autorité peut autoriser des exceptions.

[2]Il doit recueillir périodiquement les détritus flottants aux abords des installations, conformément aux prescription de l'autorité.

<u>Contraintes financière</u> :

Perte de charge : diminution de la production d'électricité,

Frais liés à l'évacuation des « détritus flottants » (173 chf/t).

<u>Contraintes énergétiques et environnementales</u> :

Qualité et quantité de la ressource,

Potentiel de valorisation de la ressource.

3.1. Problématique → CATEGORISATION

Bois de chauffage (Opair, annexe 5):

Bois à l'état naturel : sous forme de morceaux (bûches, briquettes de bois sans liants, brindilles et pives) ainsi que sous une autre forme (bois déchiqueté, copeaux, sciure, écorces),
Résidus de bois : de l'industrie du bois, de son artisanat et des chantiers, s'il n'est pas imprégné d'un enduit ni recouvert d'un revêtement renfermant des composés organo-halogénés,
Bois usagé : issu de la démolition,
Déchets de bois à problèmes : imprégnés, enduits ou traités (composés organo-halogénés), et les déchets de bois usagé ayant subi les mêmes traitements.

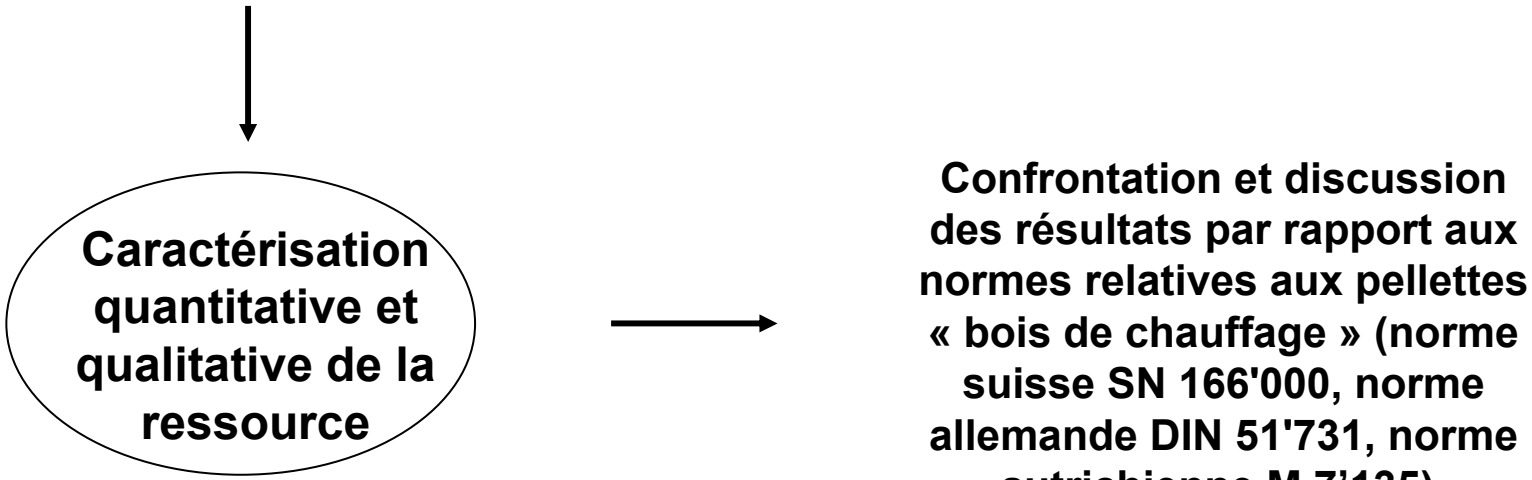
Bois flottants :

96-98 % du volume = bois naturel,
2-4 % d'indésirables → déchet (impact contaminant potentiel),
Absence de norme spécifique de qualité ; seule l'OPair est contraignante (valeurs limites d'émissions).

→ **Difficiles à classer**

3.1. Problématique → HYPOTHESE DE TRAVAIL

- Norme SN166’000 (pellettes de chauffage),
- Quantitativement associés à la catégorie « bois naturel »,
- Qualitativement contaminés par divers matériaux (indésirables et sédiments).



3.2. Méthodologie → METHODOLOGIE GENERALE

EXTRACTION Bois flottant avec sédiments et matériaux fins

EXTRACTION Bois flottant uniquement

ECHANTILLONNAGE

PREPARATION DES ECHANTILLONS

ANALYSES QUALITATIVES ET PHYSIQUES

ANALYSES CHIMIQUES

Combustion (cendres)

Dosage des éléments majeurs (C, H, N, O, Cl et S) et traces (As, Cd, Cr, Cu, Pb et Zn) par Fluorescence-RX

ANALYSES CHIMIQUES

Minéralisation acide

Dosage des éléments traces (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb et Zn) par ICP-MS

3.2. Méthodologie → ECHANTILLONNAGE AVRIL 05

EXTRACTION

40 échantillons de troncs :

- **Ø > 8 [cm],**
- **Extrémités non-altérées,**
- **Centres (si possible 1.3 [m] en dessus du système racinaire).**

BROYAGE

2 échantillons de plaquettes :

- **5 [kg plaquette/éch.],**
- **sans tri manuel, en deux endroits bien distincts du tas.**

SECHAGE

3.2. Méthodologie → ECHANTILLONNAGE SEPT. 05

EXTRACTION

6 échantillons de troncs :

- **Ø > 8 [cm],**
- **Extrémités altérées,**
- **Centres et extrémités de troncs.**

TRI MANUEL

BROYAGE

3 échantillons de plaquettes :

- **5 [kg plaquette/éch.],**
- **avec tri manuel : 1 x que des gros troncs, 1x branche et matériaux fins,**
- **sans tri manuel : 1x sur un tas en cours de séchage.**

SECHAGE

3.2. Méthodologie → PREPARATION ET ANALYSES

ECHANTILLONS
(tranches de troncs et/ou plaquettes)

Stockage des échantillons de référence

DESCRIPTION

Ø et longueur du tronc, typologie (naturel, coupé, présence d'écorce, etc.), détermination (genre et espèce)

PESAGE ET TREMPAGE

Détermination de la masse, du volume et de la densité humide

PESAGE ET TAMISAGE (plaquettes)

3 fractions : X < 5.6 [mm], 5.6 [mm] < X < 16 [mm], X > 16 [mm] ; détermination de la masse, du volume et de la densité sèche

SECHAGE, BROYAGE ET TAMISAGE

Séparation en 3 fraction après broyage : fine < 500 [µm], 500 [µm] < moyenne < 1000 [µm] et grossière > 1000 [µm]

Stockage des échantillons séchés

COMBUSTION

Détermination de la teneur en cendres

ANALYSES CHIMIQUES

Dosage des éléments majeurs et traces (Florescence-RX et ICP-MS)

POUVOIRS CALORIFIQUES

Supérieur (PCS)
Inférieur (PCI)

3.3. Résultats → GENRE ET ESPECE

Espèces	**Abondance [%]**
Salicacées	25
Aulne	17.5
Peuplier	10
Conifère	7.5
Robinier	7.5
Charme	5
Fruitiers	5
Frêne	5
Hêtre	2.5
Bouleau	2.5
Noisetier	2.5
Orme	2.5
Chêne	2.5

50 % sp. rypisylve :

- Salicacées
- Aulnes
- Peupliers

2.5 % indéterminés

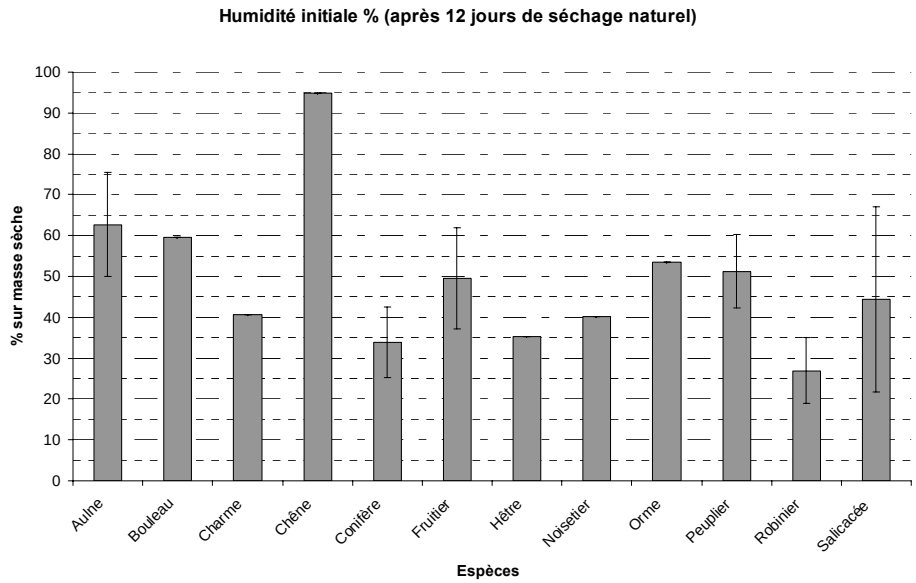
3.3. Résultats → HUMIDITE ET DENSITE

Humidité :

30-60 % (H_{moy} = 49 %)

SN166'000 < 12 %

→ Séchage nécessaire

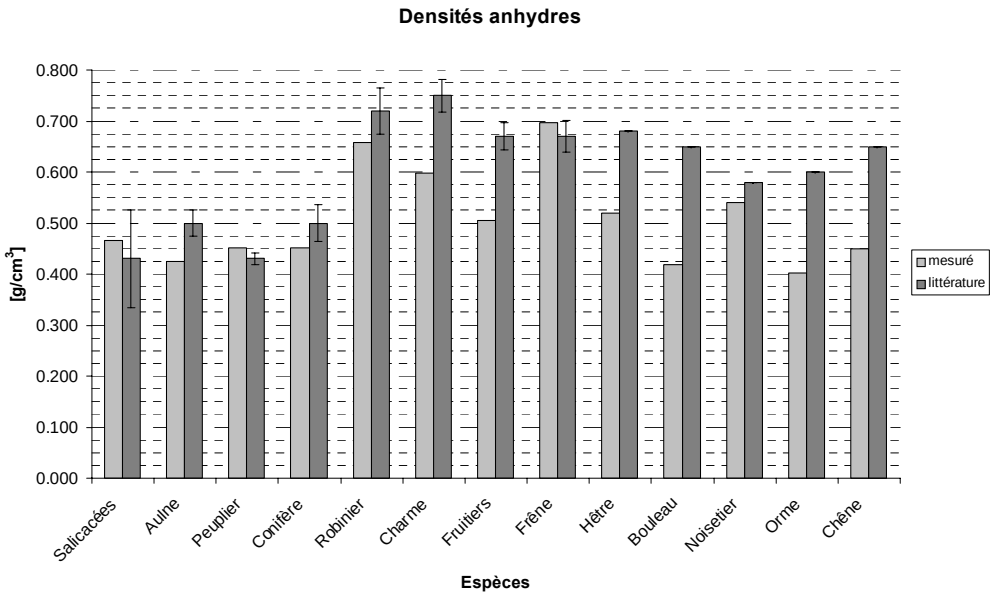


Densité :

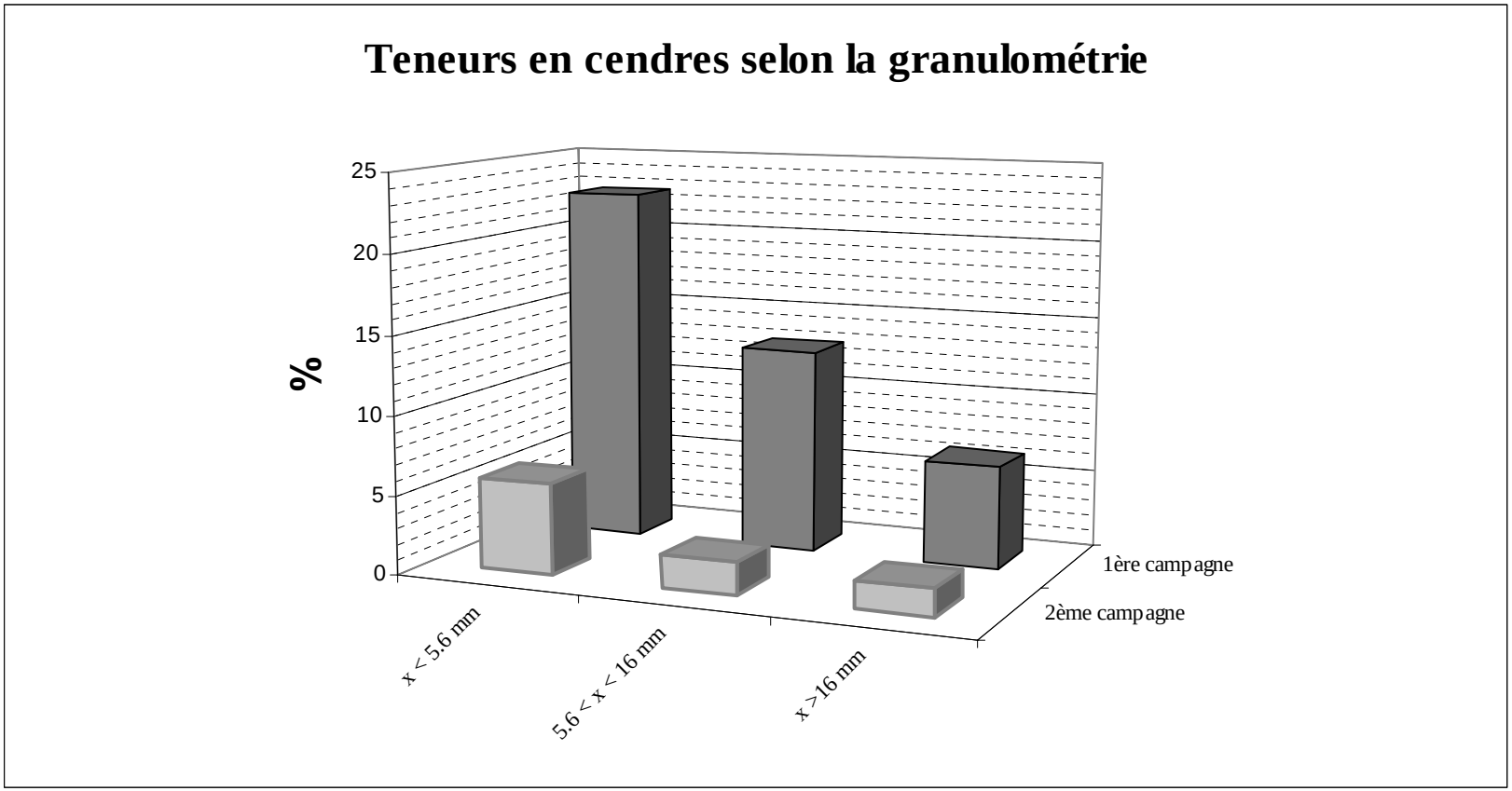
$d_{bois\ tendres}$ mesuré < d littérature

$d_{bois\ durs}$ mesuré < d littérature

→ Altération faible



3.3. Résultats → TENEUR EN CENDRES



<u>Teneurs moyennes</u> :

Avril 05 : 14.7 %

Septembre 05 : 3.5 %

Norme SN 166'000 < 1.5 %

<u>Contribution majeure</u> :

Fraction fine < 5.6 [mm]

Apport de matériaux minéraux fins (argiles, limons) du sédiment

Importance du mode d'extraction

Influence sur la qualité chimique de la ressource

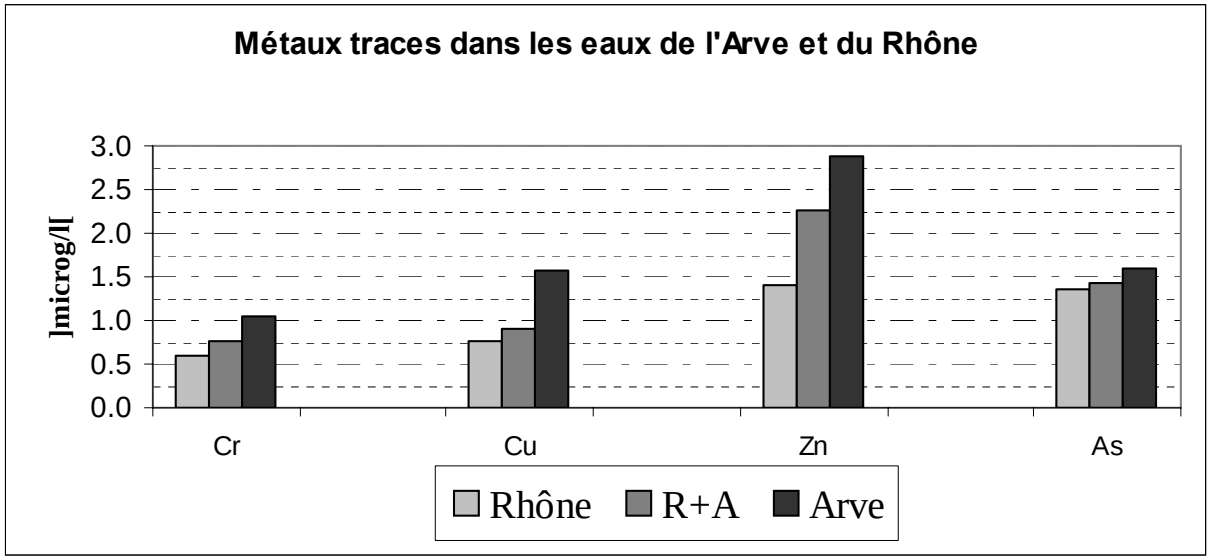
3.3. Résultats → ELEMENTS MAJEURS/METAUX TRACES

Eléments	Plaquettes printemps 05 ; (par XRF)	Plaquettes automne 05 ; (par ICP-MS)	Norme SN166'000 (pellettes)
Cl [mg/kg]	**23**	nd.	< 300
N [%] *(cf. 3.3)*	**0.13**	nd.	< 0.3
S [mg/kg]	**191**	nd.	< 400
As [mg/kg]	**1.3**	**0.34 ± 0.08**	< 0.8
Cd [mg/kg]	nd.	**0.15 ± 0.01**	< 0.5
Cr [mg/kg]	**26**	**1.7 ± 0.1**	< 8
Cu [mg/kg]	**25**	**2.7 ± 0.1**	< 5
Hg [mg/kg]	nd.	**0.027 ± 0.01**	< 0.05
Pb [mg/kg]	**12**	**0.7 ± 0.08**	< 10
Zn [mg/kg]	48	**22 ± 1.3**	< 100

Comparaison avec la norme SN166'000 :
Avril 05 : As > 4× ; Cu > 5×, Cr 3× et Pb que de très peu,
Septembre 05 : teneurs satisfaisantes

3.3. Résultats → METAUX TRACES

	Sédiments bas Verbois *(Koukal, 1999)*	**Sédiment haut Verbois** *(Perroud, 2000)*	**Valeur indicative OSol [mg/kg]**	**Sédiments (teneurs naturelles du Léman)** *(Koukal, 1999 ; Perroud, 2000)*
Cd	**1.3**	**2.0**	0.8	0.2
Cr	**41.9**	nd.	50	nd.
Cu	**33.5**	**44.1**	40	30
Hg	nd.	**0.4**	0.5	0.03
Pb	**32.6**	**45.9**	50	30
Zn	**152.3**	**111.2**	150	60



<u>Dépassement SN166'000</u> (Avril 05) :

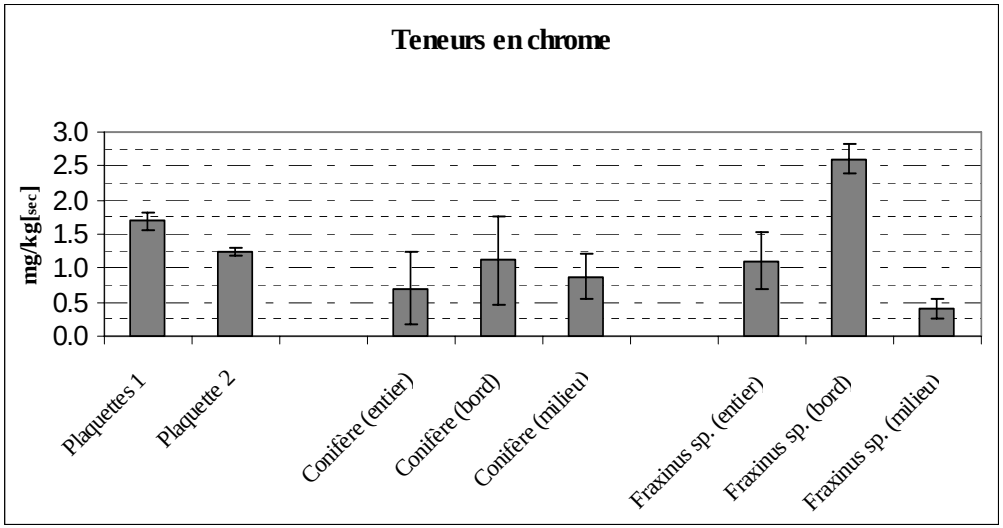
As 4×

Cr 3×

Cu 5×

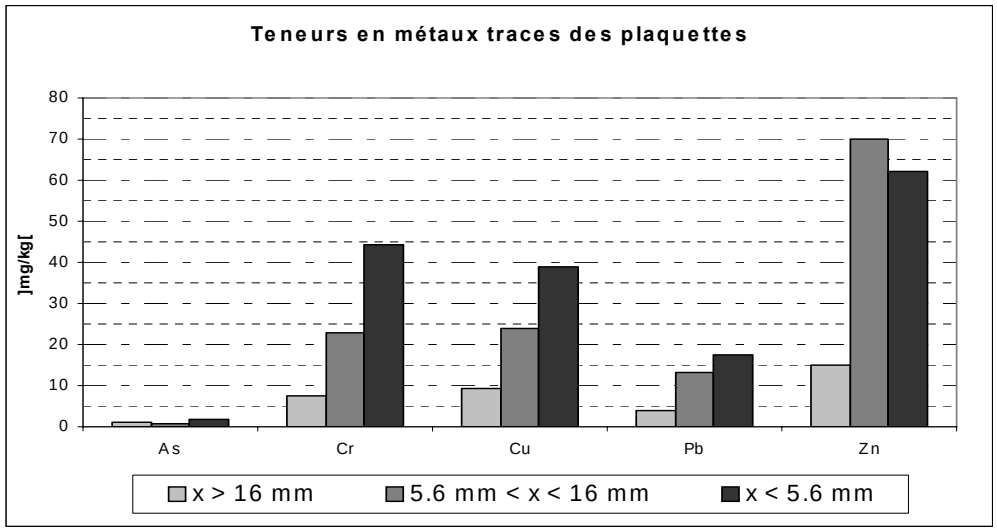
Pb de très peu

3.3. Résultats → METAUX TRACES



Echantillon de tronc :

Teneurs $_{\text{partie externe}}$ > teneurs $_{\text{partie interne}}$,



Echantillon de plaquette :

Présence majoritaire de sédiment dans la fraction < 5. 6 [mm],

Sédiment contaminant (surfaces spécifiques d'adsorption et d'absorption superficielle),

Aspect des fractions granulométriques,

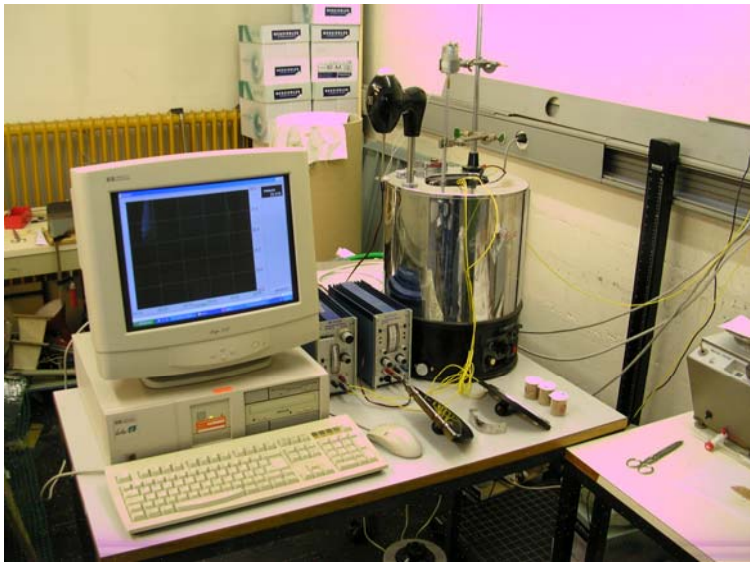
Confirmation des teneurs en cendres

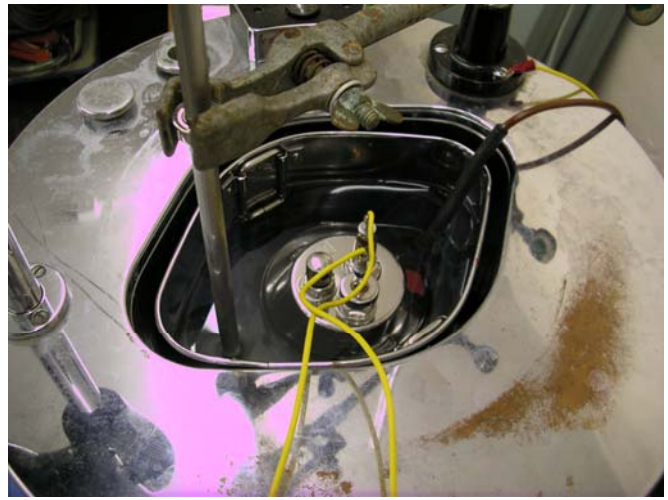
3.3. Résultats → INFLUENCE DE L'EXTRACTION

Avril 05

Septembre 05

3.3. Résultats → METHODE DE CALORIMETRIE





Pouvoir calorifique :
Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'un échantillon.

Principe :

1) Échantillon introduit dans une bombe massive en acier (O_2 25 atm.), plongée dans un réservoir d'eau thermiquement isolé de l'extérieur
2) Combustion → Teau↑ ÷ chaleur dégagée par la combustion de l'échantillon (hypothèse : ensemble des chaleurs spécifiques = cte). Récupération la vapeur d'eau condensée (environ 25 [°C]).

PCS = (C × Δt)/m[J/g]

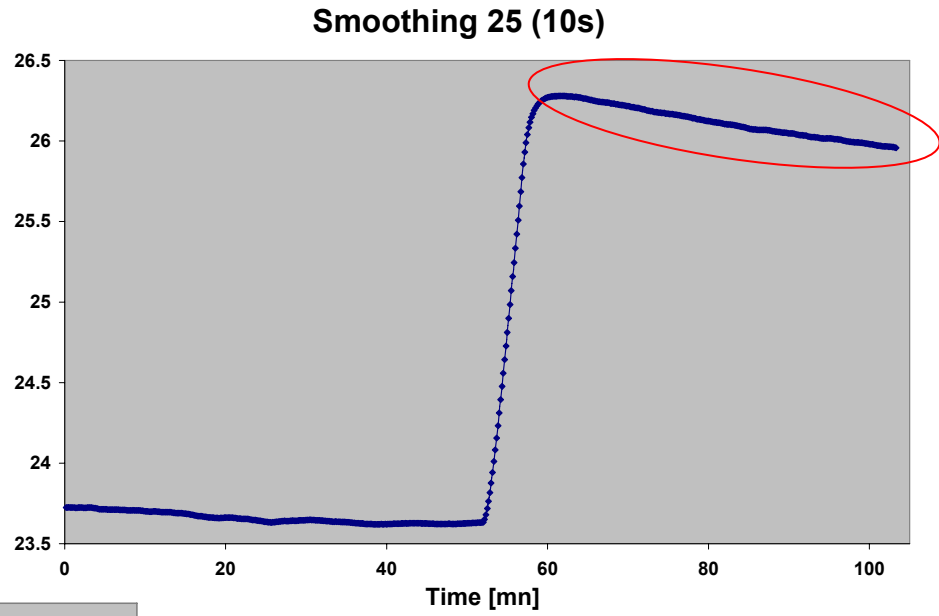
C : constante du système calorimétrique [J/°C]
m : masse de l'échantillon [g]

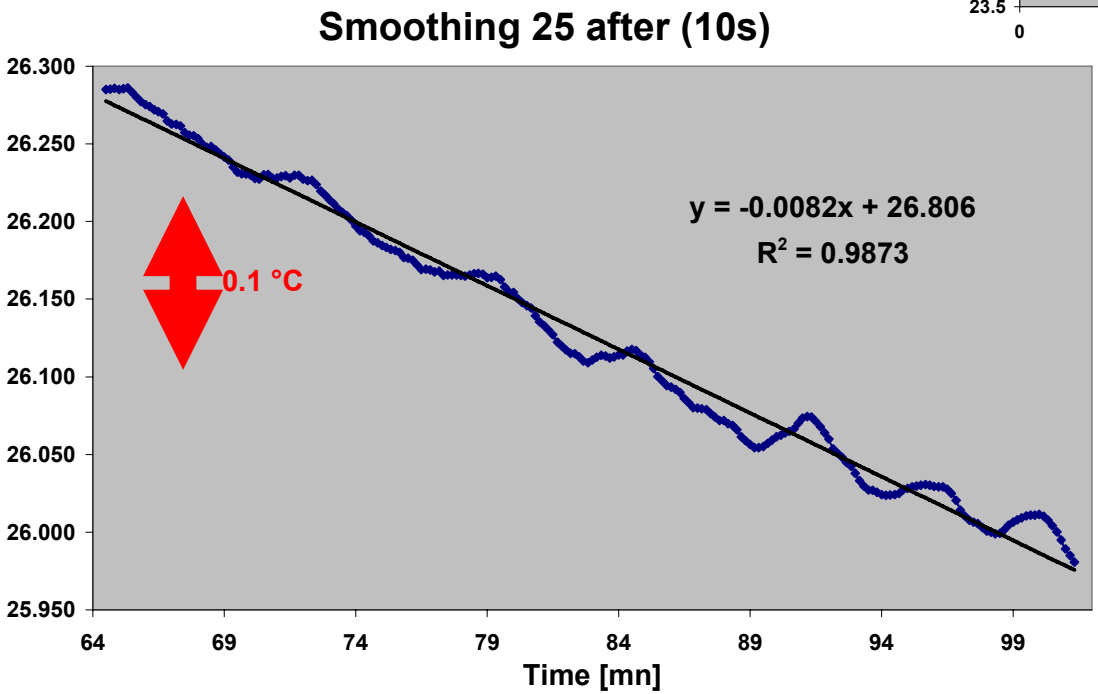
3.3. Résultats → METHODE DE CALORIMETRIE

Lissage par méthode statistique

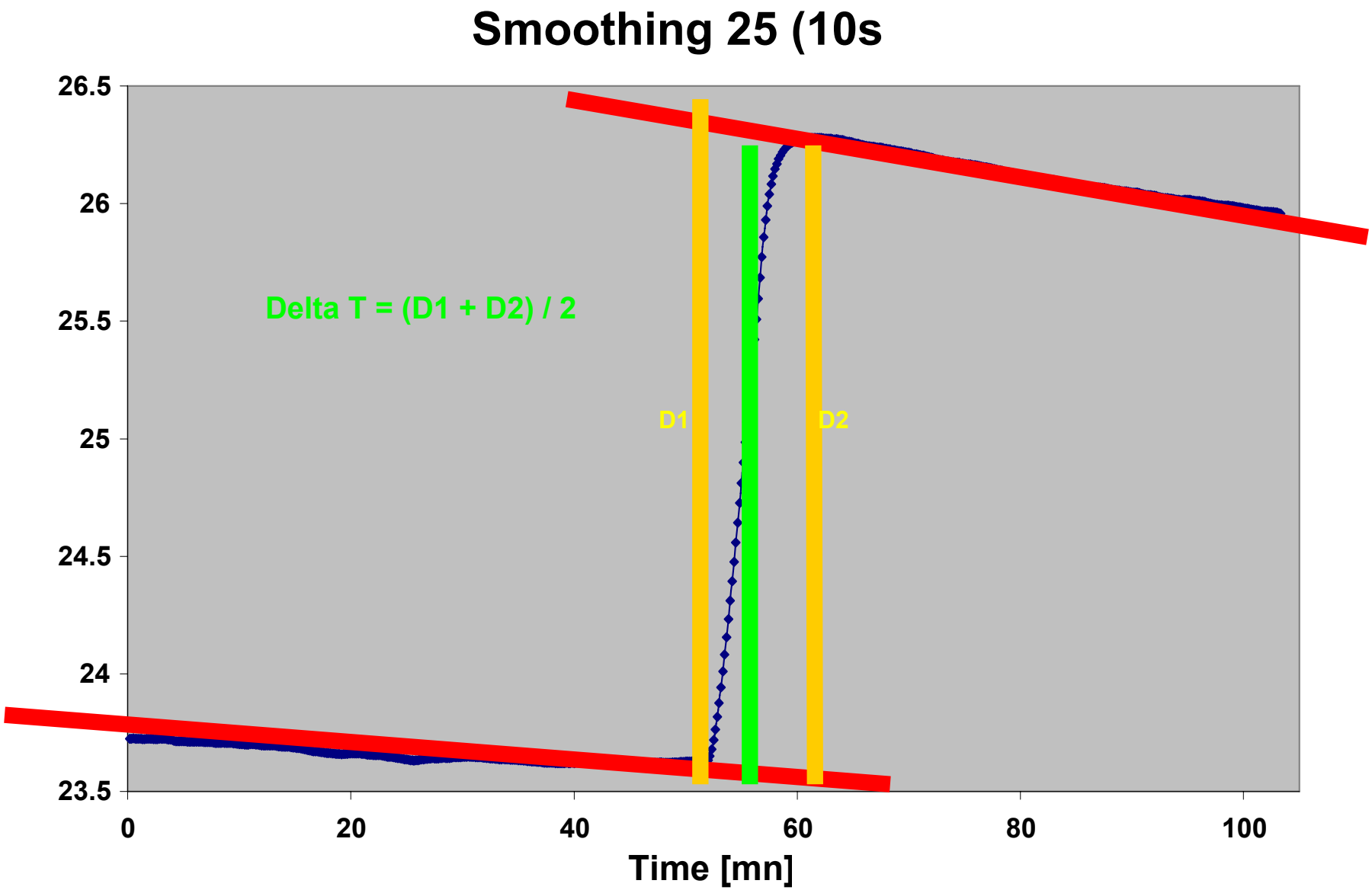
Régression linéaire

ΔT basé sur les pentes





3.3. Résultats → METHODE DE CALORIMETRIE

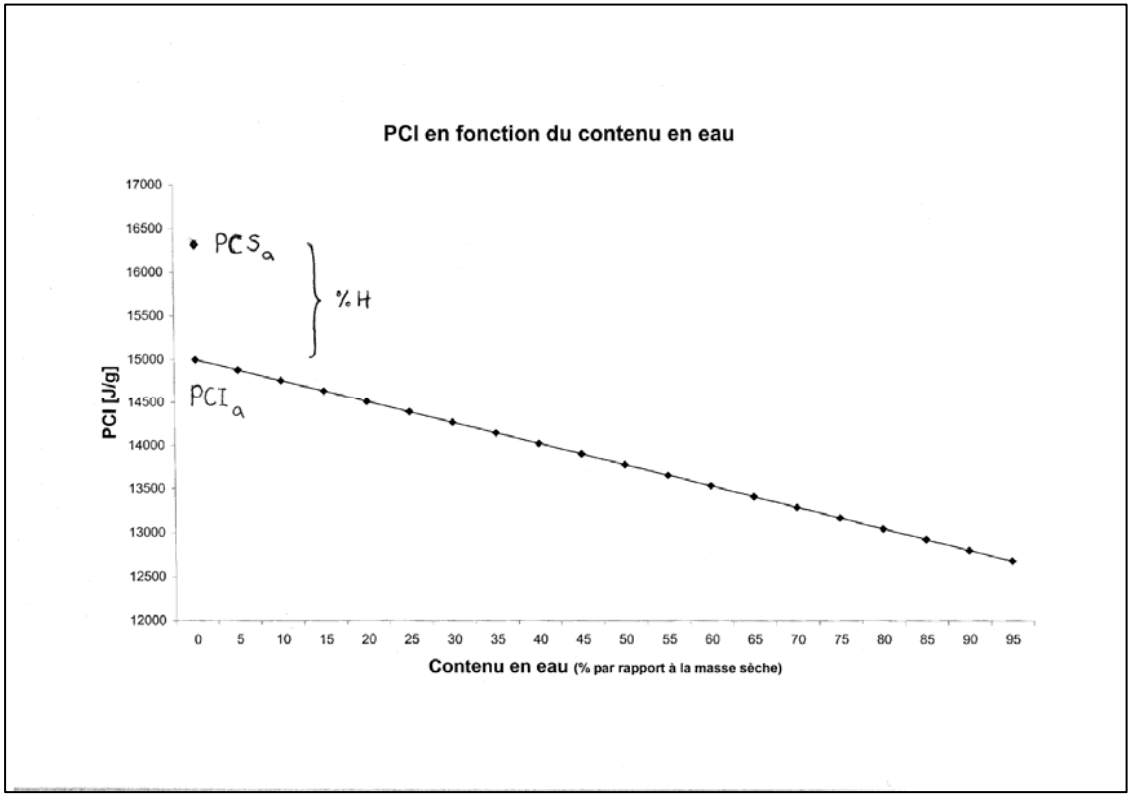


3.3. Résultats → METHODE DE CALORIMETRIE

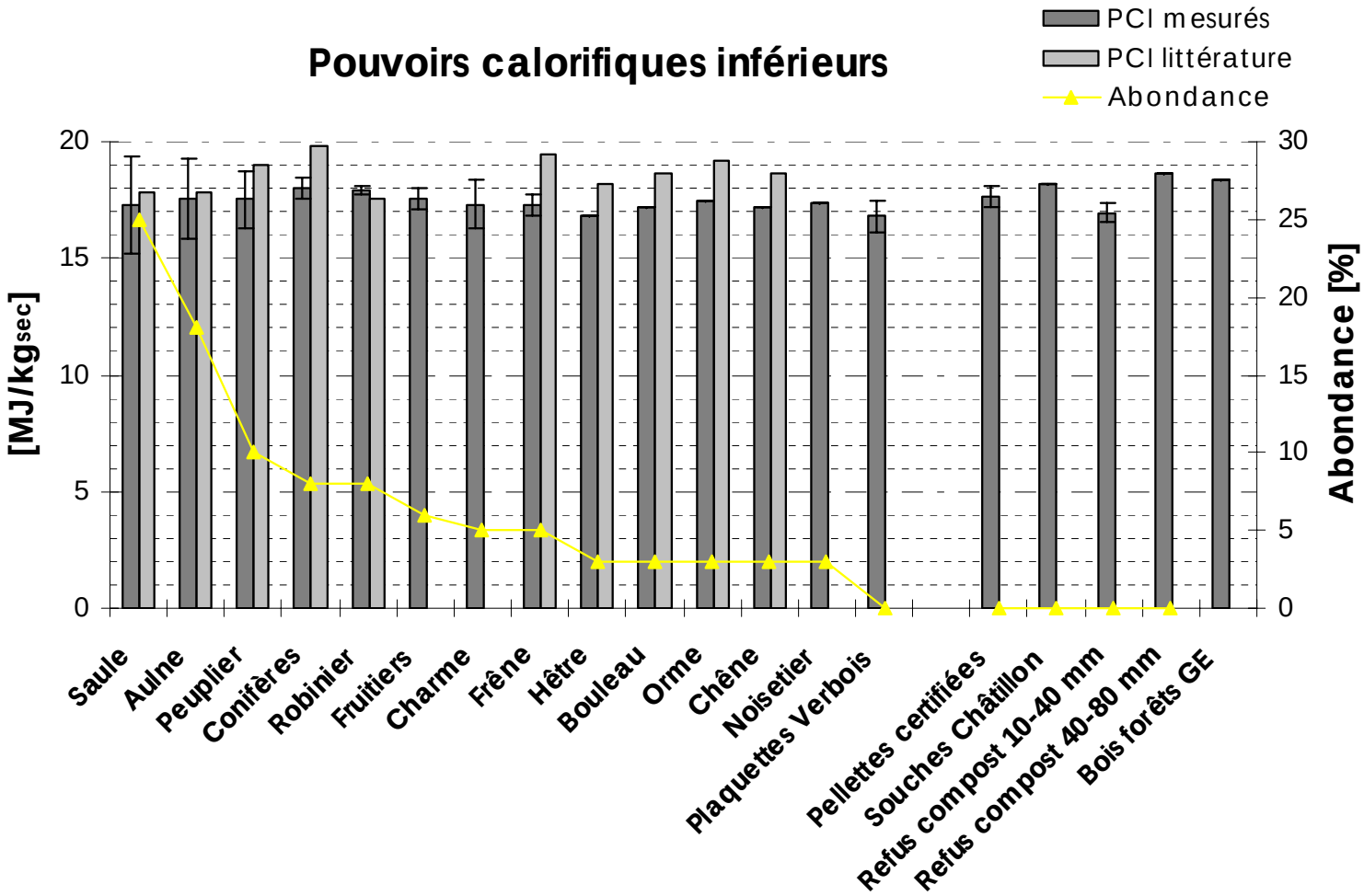
$PCI_a = PCS_a – (h/100×2) × 18.02 × 2.447 × (1-w/100)$ [MJ/kg]

h : contenu en H (% en masse)

w : contenu en H_20 (% en masse)



3.3. Résultats → RESULTATS DE CALORIMETRIE



$PCI_{anhydre}$ de l'ordre de 17.5 [MJ/kg_{sec}] (aulne, saules et peupliers),
$PCI_{anhydre}$ mesurés < $PCI_{anhydre}$ littérature,
$PCI_{anhydre}$ moyen = 16.8 ± 0.6 [MJ/kg_{sec}] (plaquettes),
SN166'000 Norme SN 166'000 $PCI_{anhydre}$ > 16.7 [MJ/kg_{sec}]

3.3. Résultats → QUANTITE DE REFERENCE

	Pesée (méthode 1)	**Calculée en fct. des débits de pointe (méthode 2)**	**Surface mesurée minimum sur 5 ans (méthode 3)**	**Surface mesurée maximum sur 5 ans (méthode 3)**	**Référence Cuepe**
Surface estimée [m^2]	8’975	-	3’850	22’100	-
Volume estimé [m^3]	1’000	-	770	4’420	-
Masse [$tonne_{humide}$]	360	1’100	270	1’545	**250-1'600**
Masse [$tonne_{anhydre}$]	180	550	135	770	**120-800**

Méthode 1 : précise mais ponctuelle,
Méthode 2 : statistique, estimation à partir de données anciennes (longues périodes), peu précise,
Méthode 3 : moyennement précise, monitoring strict.

Quantité médiane :

500 [$tonne_{anhydre}$/an

3.3. Résultats → POTENTIEL ENERGETIQUE DE REFERENCE

Humidité [%]$_{anhydre}$	**PCI de référence [MJ/kg$_{sec}$]**	**Energie minimum [MWh]**	**Energie médiane [MWh]**	**Energie maximum [MWh]**
0	16.8	560	2'335	3'735
10	16.5	550	2'290	3'665
30	16	535	2'220	3'555
100	14.3	475	1'985	3'180

Ressource facilement exploitable à un taux d'humidité de 30 % sur masse sèche,
Potentiel énergétique (médian) de référence = 2'220 [MWh] (masse médiane = 650 [tonne$_{humide}$/an] à 30 % d'humidité sur masse sèche, soit 500 [tonne$_{sec}$/an]).

3.3. Résultats → ASPECTS ECONOMIQUES

Coûts actuels :

750 [tonne$_{humide}$/an] après séchage rapide (*50 % humidité sur masse humide*),
Incinération = 173 [chf/tonne],

Coût annuel =130'000 [chf/an] (sans les frais d'extraction, de broyage, de transport et de main d'œuvre).

Gains potentiels :

Prix du marché suisse de la plaquette forestière = 50 [chf/MWh],
Potentiel énergétique de référence = 2'220 [MWh],

Gain potentiel médian = 110'000 [chf/an].

Bilan :

→ 240'000 [chf/an] investis dans le traitement de 500 [tonne$_{sec}$/an] de bois flottant :

extraction, tri, mise en forme de plaquettes ou pellettes et livraison.

3.4. Perspectives → FILIERES ENVISEAGEABLES

<u>Valorisation matière</u> :

peu avantageuse (gestion des flux de matière) :

- \- Epandage des refus de compostage 10-40 [mm] très mal accepté (aspect et qualité),
- \+ Excellent pouvoir calorifique,
- \+ Production de bois de chauffage insuffisante.

<u>Valorisation énergie</u> (paramètres déterminants) :

Proximité des sites de production et de consommation,

Utilisation d'installations de production déjà existantes.

→ **<u>Trois filières principales</u> :**

1) <u>Incinération à l'UIOM des Cheneviers</u> :
   + proximité des sites, même entité, stockabilité, faible contamination, réglage fin de la combustion
   - évolution de l'UIOM, stockage, absorption de chaleur supplémentaire (extension CADIOM – utilisation en pointe)
2) <u>Alimentation de chaufferies à bois collectives locales</u> :
   + proximité de Verbois (< 10 [km]), système simple et efficace,
   - Qualité et acceptabilité de la ressource (cf. Opair),
3) <u>Développement d'un écosite « biomasse-énergie »</u> :
   SOLUTION RETENUE

3.4. Perspectives → DEVELOPPEMENT D'UN ECOSITE

Définition : tissu local de filières liées à la biomasse qui peuvent s'interconnecter les unes aux autres.

Critères de faisabilité d'un écosite (centre production de combustible « bois-énergie ») :

1) Surface productive = 5'000 [ha], ou quantité produite équivalente,
2) Production de 12'000 [tonne/an] de pellettes,
3) Présence de chaleur excédentaire.

Critères satisfaits :

+ **Concentration d'infrastructures** : axes de transport, installations de production énergétique et installation de traitement de déchets,
+ **Présence de ressources « bois-énergie »** : énergie potentielle = 10.4 [GWh/an] (h=30%),
+ **Présence de chaleur excédentaire** : UIOM des Cheneviers (env. 100'000 [l/min]),

+ Bassin versant d'environ 50'000 habitants (offre < demande),
+ Amélioration de la gestion des forêts cantonale et régionales.

+/- Variation de la quantité annuelle de ces ressources potentielles,
+/- Niveau de qualité de ces ressources potentielles → caractérisation.

Optimisation des flux de matières et d'énergie à l'échelle locale en faisant jouer les synergies en présence :

1) avantages économiques,
2) durabilité de la gestion des ressources-déchets).

Bibiographie

- **Beck J.**, (2006), « *Valorisation des bois flottants s'accumulant derrière les retenues, cas du barrage de Verbois (GE) : caractérisation et étude des filières* », Diplôme MESNE, Université de Genève,

- **Keel A.**, (2006), « *"Vision forêt" : le boom des granulés se poursuit grâce à la forêt ; à partir de bois récolté en forêt* », Energies renouvelables, pp. 16-17, 2/2006,

- **Sella F.**, « *Valorisation énergétique des bois flottants du barrage de Verbois : caractérisation physico-chimique de la ressource* », Diplôme MESNE, Université de Genève,

- **SN 166'000**, (2001), « *Testing of solid fuels-compressed untreated wood, requirements and testing* », Scweizerische Normen-Vereinigung Winterthur, Switzerland,