

OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE PAR BIOMASSE

Thème: Enjeux sociétaux : énergie, environnement, sécurité

N° d'inscription: 13233

Objectifs:

- ❖ Chercher des méthodes permettant d'améliorer le rendu énergétique dans une centrale de biomasse.
- ❖ Etudier la production d'énergie à partir de biomasse
- ❖ Analyser la viabilité de la biomasse comme étant une solution énergétique pour demain.

Plan de Travail :

I. Méthodes de production d'Energie à partir de la biomasse

1. La biomasse

2. Les formes de biomasse

3. Les méthodes de transformation biomasse-énergie

II. Etude de production : conversion biomasse –énergie

1. Mise en évidence de la modélisation

2. Résolution et simulation numérique

3. Solution : comment augmenter le rendement de production ?

III. Ecologie : notre environnement sera-t-il respectée ?

1. Position du problème et résolution

IV. Annexes

V. Conclusion

I. METHODES DE PRODUCTION D'ENERGIE PAR BIOMASSE

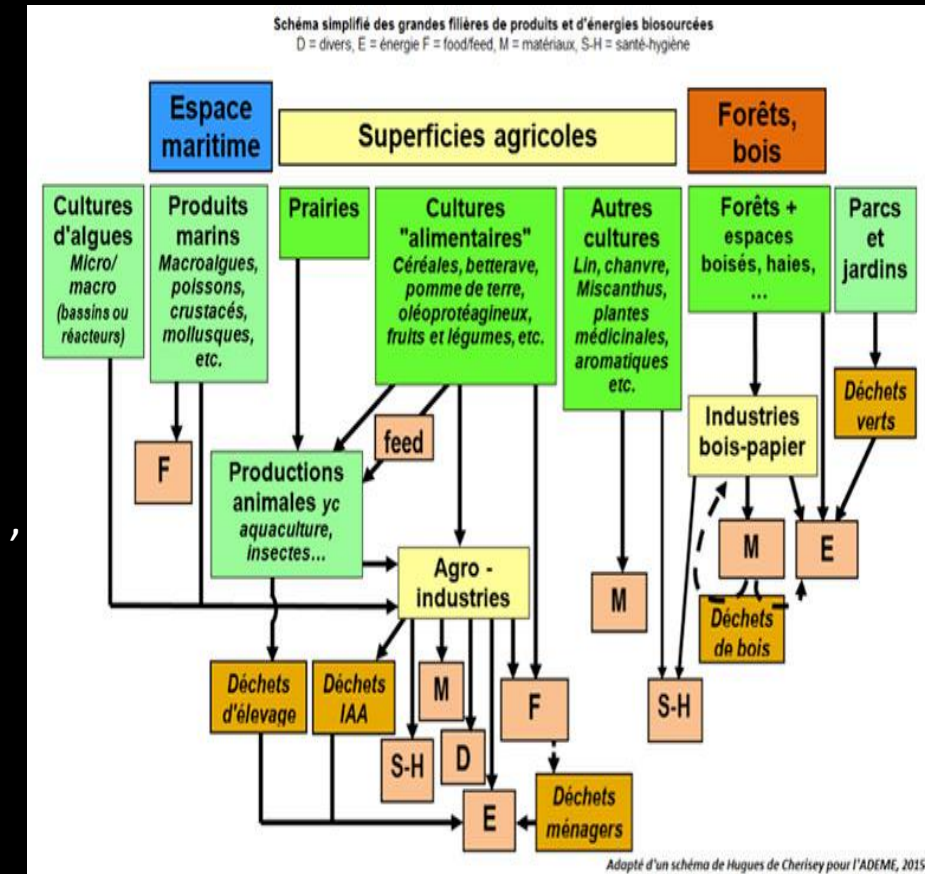
1) LA BIOMASSE

On appelle « biomasse » l'ensemble des matières organiques dégradables transformées en énergie. C'est le cas du bois, par exemple, que les hommes utilisent pour se chauffer depuis plus d'un demi-million d'années.

2) LES FORMES DE BIOMASSE

- Les déchets d'origine végétale : qui constituent entre autre le bois , les feuilles , résidus alimentaires, papier , carton , déchets ménagers, etc...
- Les déchets d'origine animale : fumier et lisier d'animaux par exemple, ainsi que certains résidus alimentaires.

Ce schéma simplifié des grandes filières de produits et d'énergie nous donne les origines la biomasse .



Adapté d'un schéma de Hugues de Cherisey pour l'ADEME, 2015

[1]

source: encyclopédie-energie.org

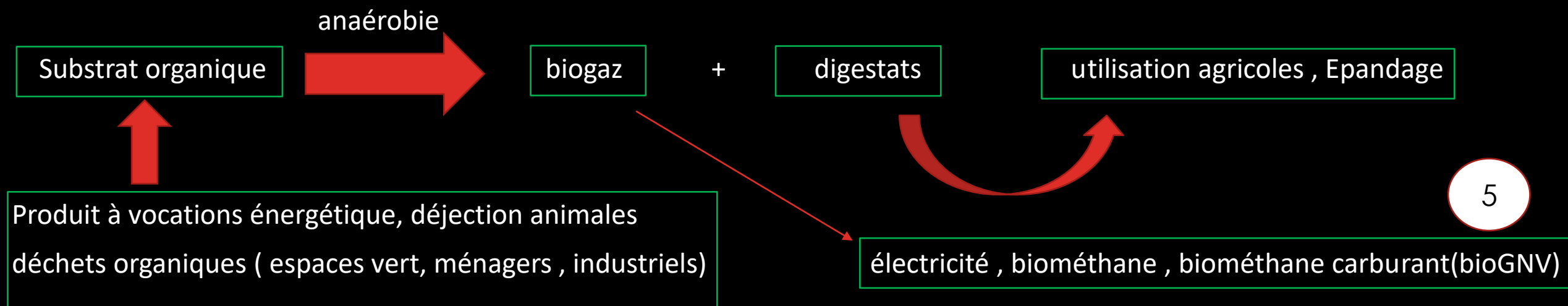
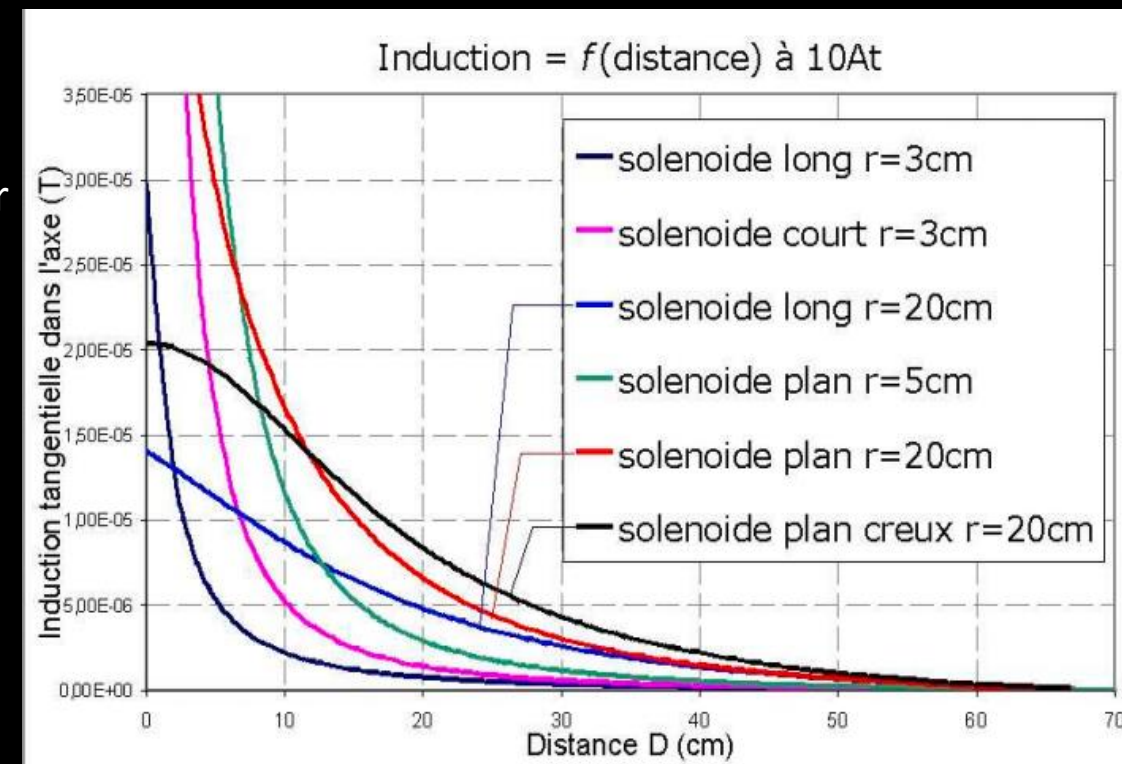
3) LES METHODES DE TRANSFORMATION BIOMASSE ENERGIE EN CENTRALE DE BIOMASSE

➤ Utilisation directe du bois ou plaquette forestière:

Après combustion du bois, l'eau à température ambiante se transforme donc en Vapeur d'eau et actionne une turbine à vapeur permettant de Produire de l'électricité par phénomène d'induction.

➤ Méthanisation :

Elle consiste à travers un substrat organique à Produire du biogaz dont le méthane (CH_4) Et un mélange pâteux (appelée digestat). Donc:



Nature des
intrants

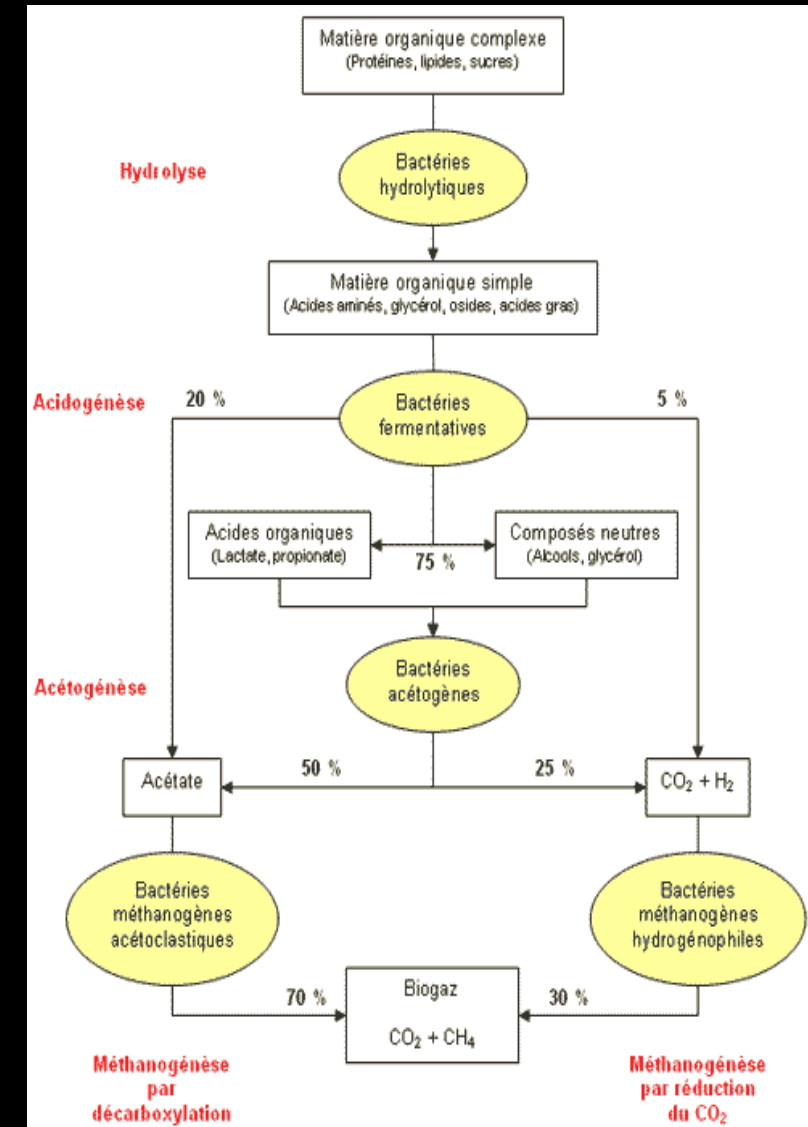
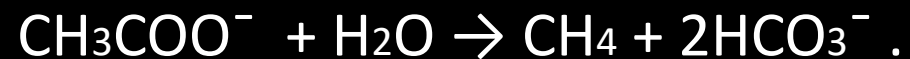
Rendement du
méthaniseur

Innocuité des
produits de
méthanisation

Conclusion : Il faut vérifié scrupuleusement la nature des intrants , afin d'avoir un meilleur rendement de production .

❖ Les étapes biochimiques sont :

Hydrolyse , Acidogénese , Acétogénese , méthanogénese



Expérience:

❖ Description:

Dans cette expériences , j'utilise des aliments très riches en bactéries

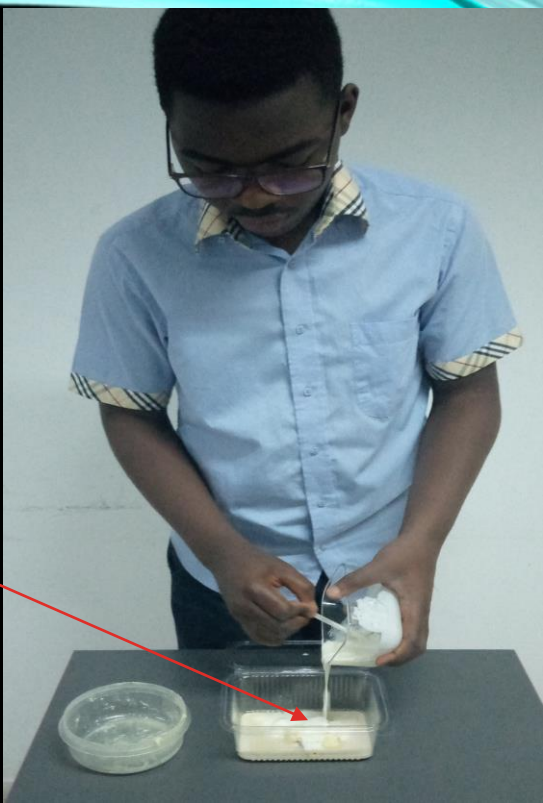
Déchets organique : graisse

Bactéries : remplacé par un yaourt périmé

Mélange de bactérie + res-
te de cuisine (graisse de
beurre + olive broyé)

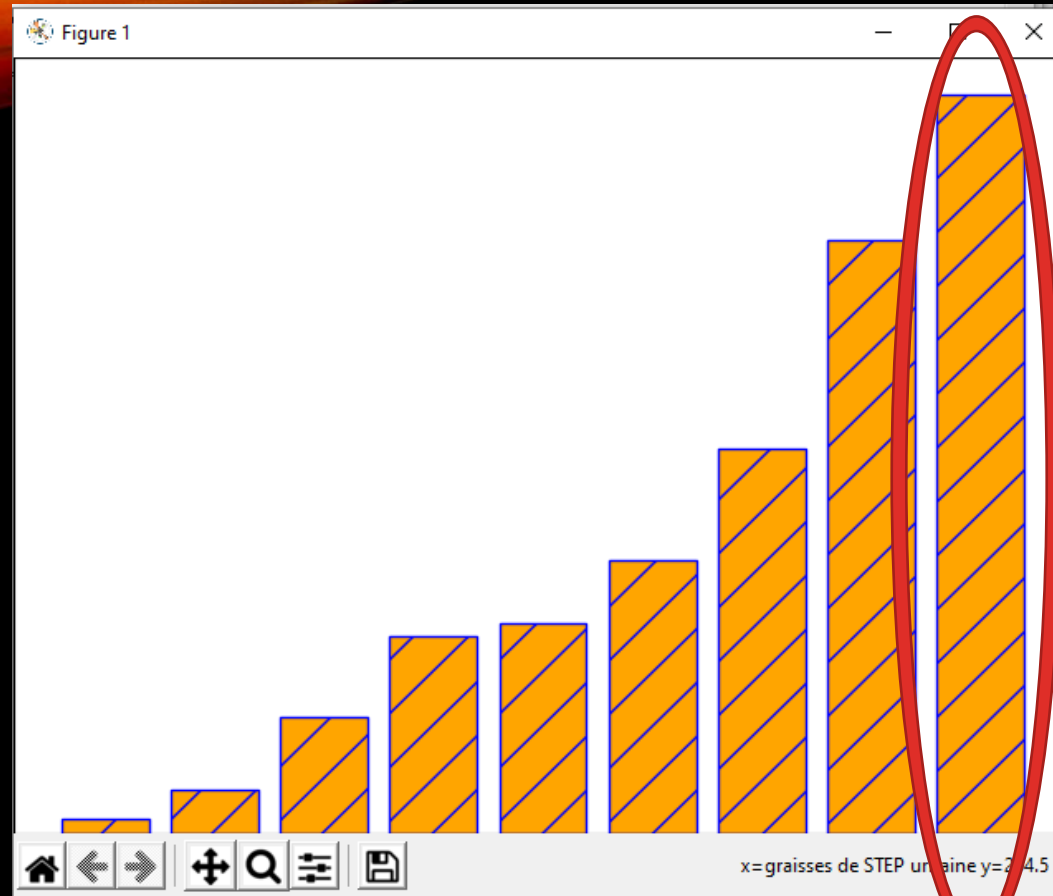
❖ visualisation des résultats :

Pour cela j'ai pris des données déjà vérifier en industrie pour avoir des
résultats plus sur et une conclusion correctes . j'ai donc consigner cela dans le tableau suivant :



<u>Intrants</u>	Eau blanche s	Lisier de bovin	Fumier de bovin	Déchet s verts	fumier de volaille	Ensilage de ray grasse	déchets de cuisine	déchets de céréales	Graisse de STEP urbaine
Product ion en m³ (CH4/t)	5	15	40	68	72	94	132	204	254

A partir des données consigner, réalisation d'un histogrammes 2D sous python pour correctement visualiser les résultats



Interprétation :

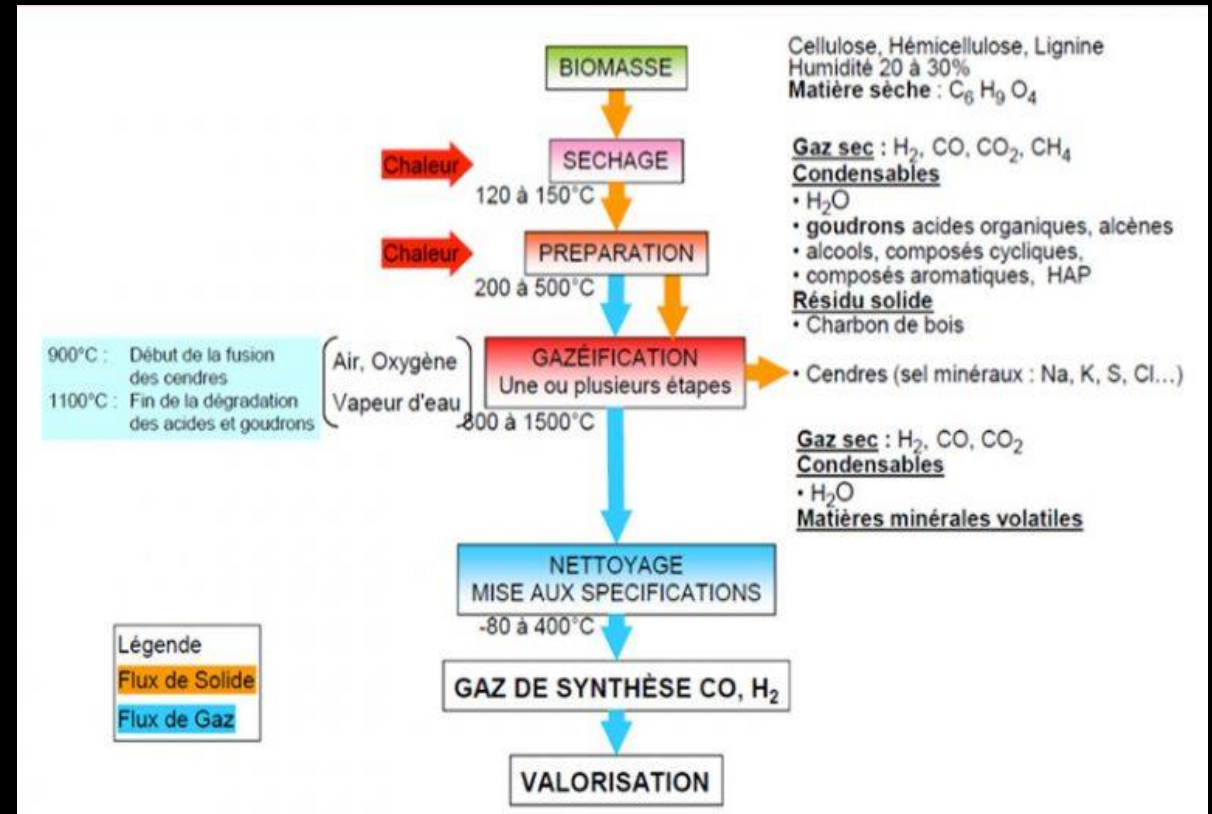
Donc l'industriel en utilisant la graisse de STEP organique , va considérablement augmenter sa production de biogaz et indirectement celle de l'électricité.

➤ La méthanation ou gazéification :

La méthanation une opération relativement complexe, effectuée sur des matières carbonées minérales ou organique(charbon, hydrocarbures) en vue de produire un biogaz. Cette transformation est synthétisée à travers l'équation :



et représenter à travers le schéma simplifié suivant:



Conclusion partielle:

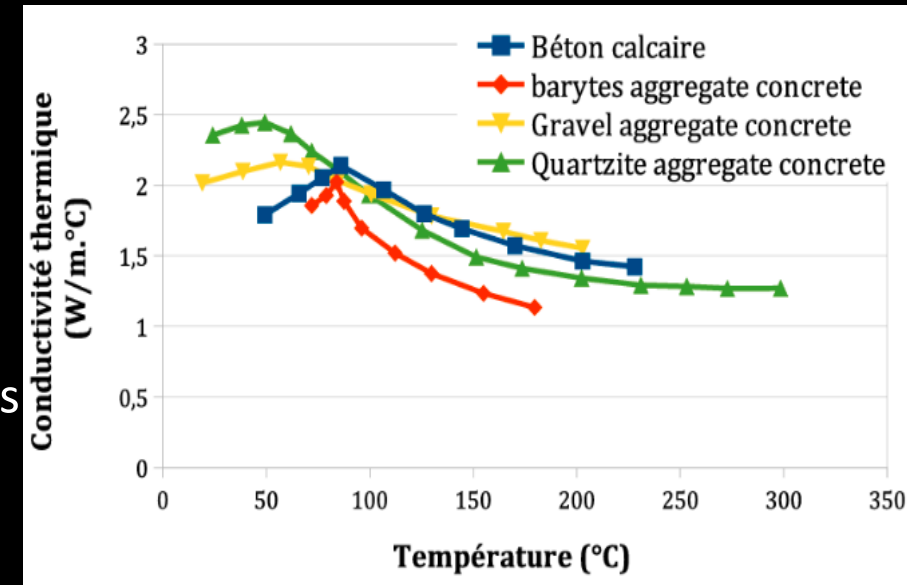
En somme , d'après cette petite étude , nous retenons que l'industriel peut agir sur le rendement de production en améliorant quelques facteurs des bioprocédés :

➤ Pour la méthodes de combustion directe , on peut tout simplement mieux aéré la chambre de combustion

Et faire des alliages avec des métaux facilitant la conduction de la
comme présenter sur la figure ci-après.

➤ Pour la méthanisation , on doit choisir les bons substrats organique à
utilisées permettant d'obtenir de meilleurs rendement comme les graisses

➤ Par gazéification ou hydrothermal carbonisées , les recherches[1] ont
Montré que la quantité d'eau utilisées pour le traitement
Est le facteur le plus influent de la méthode HTC

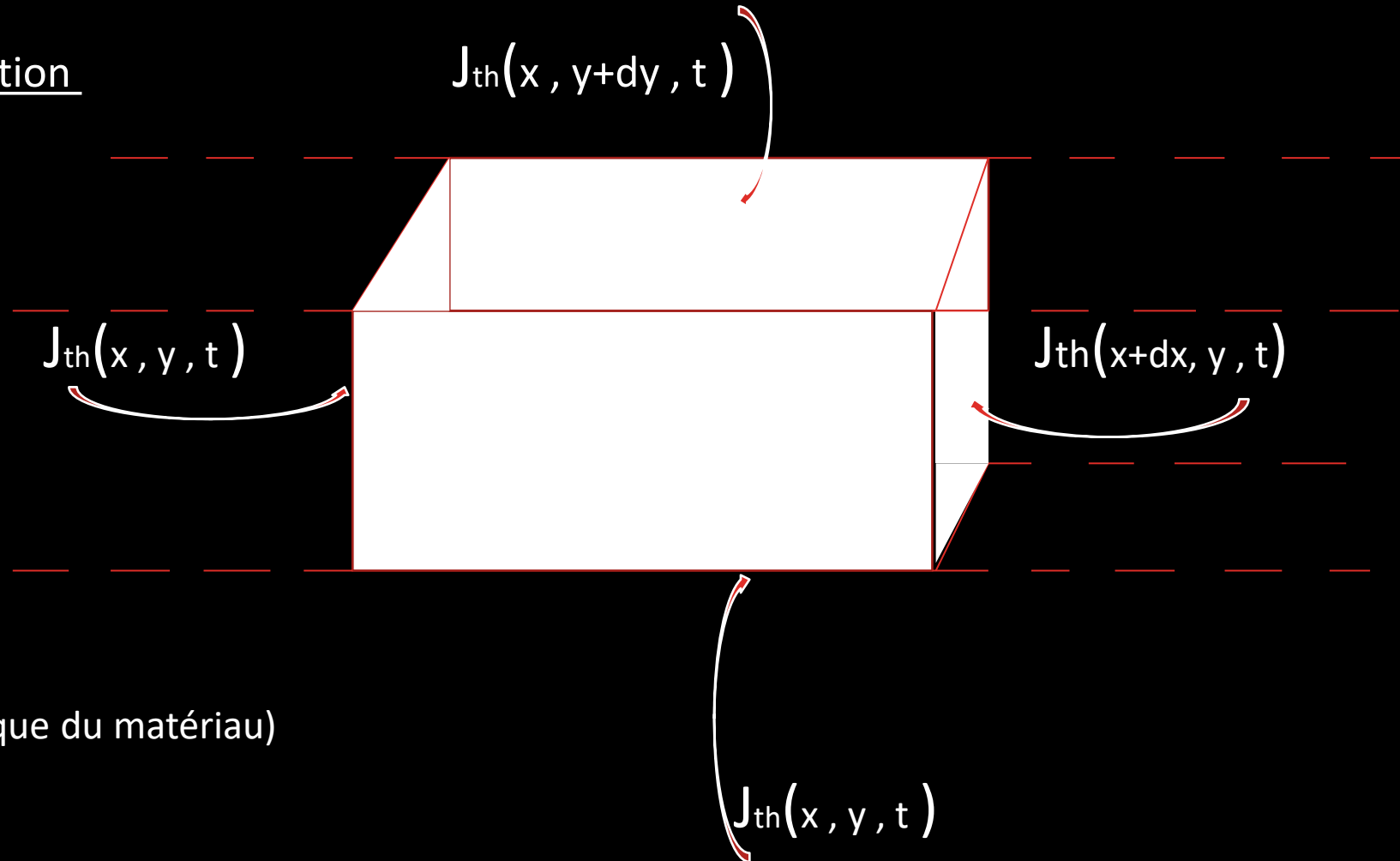


source : <https://www.researchgate.net/>

II. ETUDE DE PRODUCTION : CONVERSION BIOMASSE-ÉNERGIE

1. Mise en évidence de la modélisation

On se place dans un problème à 2D:



Vecteur associé au transfert thermique:

$$\vec{j_{th}} = -\lambda \vec{grad T}$$

λ : conductivité thermique (caractéristique du matériau)

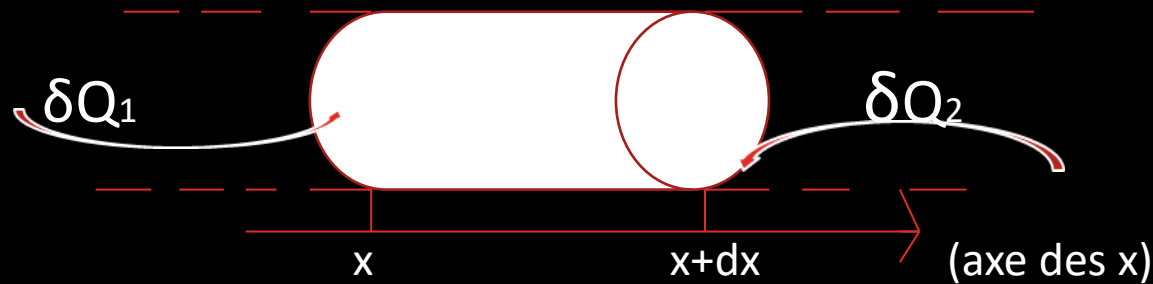
(en $W.K^{-1}.m^{-1}$)

j_{th} : en $W.m^{-2}$

$grad T$: en $K. m^{-1}$

Pour des raisons de simplification du travail on considère un problème à 1D (Le modèle de la tige) dont on corrigera l'équation par la suite.

Ainsi , on a:



On découpe la tige pour éviter une variation spatiale de la température:

D'après le 1^{er} principe dans la tranche $x, x+dx$:

$$dU = \delta Q + \delta W$$

$$\longrightarrow mcdT = \delta Q + \delta W$$

Or

$$\longrightarrow \rho s dx.c \frac{\partial T}{\partial t} dt = \delta Q_1 + \delta Q_2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} dT = \frac{\partial T}{\partial x} dx + \frac{\partial T}{\partial t} dt \\ \delta Q = \delta Q_1 + \delta Q_2 \\ \delta W = - PdV = 0 \text{ (car le solide est indéformable)} \end{array} \right.$$

Or

$$\begin{aligned} \delta Q_1 &= dt \iint \vec{j}th \cdot \vec{ds} \\ &= dt \iint jth(x,t) \vec{ux} \cdot ds (\vec{ux}) \end{aligned}$$

$$\delta Q_1 = dt jth(x,t) s$$

c : capacité thermique massique (en $J.K^{-1}.kg^{-1}$)

s : section d'un tronçon de cercle

ρ : masse volumique

$$\begin{aligned} \text{or } \delta Q_2 &= dt \iint \vec{jth} \cdot \vec{ds} \\ &= dt \iint jth(x+dx, t) \vec{ux} \cdot \vec{ds} (-\vec{ux}) \end{aligned}$$

$$\delta Q_2 = - dt jth(x+dx, t) s$$

$$\text{Ainsi, } \rho s dx.c \frac{\partial T}{\partial t} dt = dt jth(x, t) s - dt jth(x+dx, t) s$$

$$\longrightarrow \rho s dx.c \frac{\partial T}{\partial t} dt = - dt s dx \frac{\partial jth(x, t)}{\partial x} \quad \text{or } \vec{jth} = - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \vec{ux}$$

$$\longrightarrow \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x}$$

$$\longrightarrow \boxed{\frac{\partial T}{\partial t} = Dth \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x}}$$

où $Dth = \frac{\lambda}{\rho c}$ est appelé coefficient de diffusité thermique



$$[Dth] = \frac{[\lambda]}{[\rho c]} = L^2.T^{-1} \text{ soit en } m^2.s^{-1}$$

pour retourner à notre problème en 2D on obtiendra l'équation « de chaleur » suivante :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_{th} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

2) Résolution et simulation numérique sous python

1. Discrétisation : méthode d'Euler explicite

On considère des intervalles $[t_0, t_{max}]$ et $[x_0, x_{max}]$: on définit,

$$\left\{ \begin{array}{l} h_t = t_{m+1} - t_m = \frac{t_{max} - t_0}{N_t} \\ h_x = x_{i+1} - x_i = \frac{x_{max} - x_0}{N_x} \end{array} \right. \text{ avec } \left\{ \begin{array}{l} h_t \ll 1 \\ h_x \ll 1 \end{array} \right.$$

➤ discrétisation du terme $\frac{\partial T}{\partial t}$

$$T(x, y, t_{m+1}) = T(x, y, t_m + h_t) = T(x, y, t_m) + h_t \left. \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} \right|_{t=t_m} + O(h^2) \quad \text{car } h_t \ll 1 \quad (\text{par un développement de Taylor})$$

$$\left. \frac{\partial T(x,y,t)}{\partial t} \right\}_{t=t_m} = \frac{T(x_i, y_j, t_{m+1}) - T(x_i, y_j, t_m)}{ht} \quad (1)$$

➤ Discrétisation du terme $\frac{\partial^2 T}{\partial^2 x}$

$$T(x_{i+1}, y_j, t_m) = T(x_i + h_x, y_j, t_m) = T(x_i, y_j, t_m) + h_x \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right\}_{x=x_i} + \frac{h_x^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} \right\}_{x=x_i} + O(h_x^3) \quad (2)$$

$$T(x_{i-1}, y_j, t_m) = T(x_i - h_x, y_j, t_m) = T(x_i, y_j, t_m) - h_x \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right\}_{x=x_i} + \frac{h_x^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} \right\}_{x=x_i} + O(h_x^3) \quad (3)$$

$$(2)+(3) \longrightarrow T(x_{i+1}, y_j, t_m) + T(x_{i-1}, y_j, t_m) = 2 T(x_i, y_j, t_m) + h_x^2 \left. \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} \right\}_{x=x_i} + O(h_x^3)$$

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} \right\}_{x=x_i} = \frac{T(x_{i+1}, y_j, t_m) - 2T(x_i, y_j, t_m) + T(x_{i-1}, y_j, t_m)}{hx^2} \quad (4)$$

On remplace l'expression (2) et (4) dans l'expression de l'équation de diffusion :

$$\text{Ainsi, } \frac{T(x_i, y_j, t_{m+1}) - T(x_i, y_j, t_m)}{ht} = D_{th} \left(\frac{T(x_{i+1}, y_j, t_m) - 2T(x_i, y_j, t_m) + T(x_{i-1}, y_j, t_m)}{hx^2} + \frac{T(x_i, y_{j+1}, t_m) - 2T(x_i, y_j, t_m) + T(x_i, y_{j-1}, t_m)}{hy^2} \right)$$

On pose $T(x_i, y_j, t_{m+1}) = T_{i,j}^{m+1}$,

On obtient donc le schéma numérique suivant:

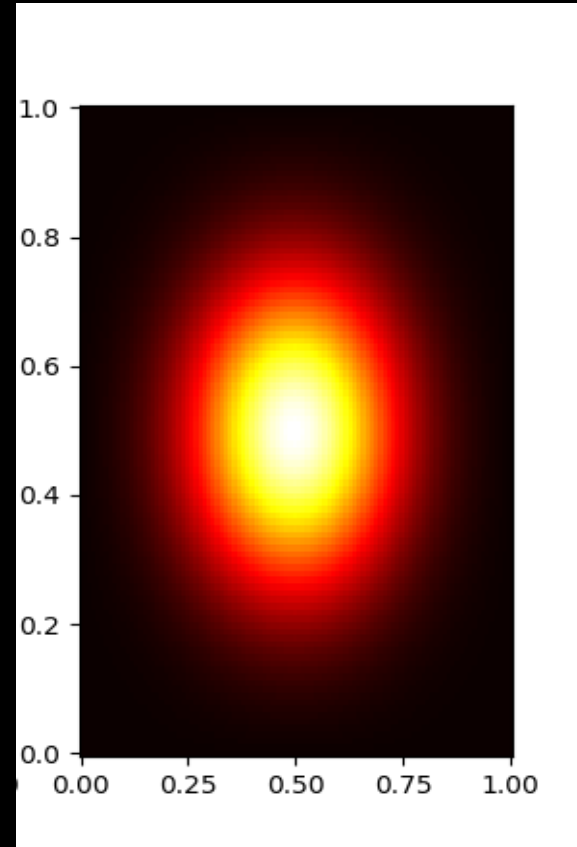
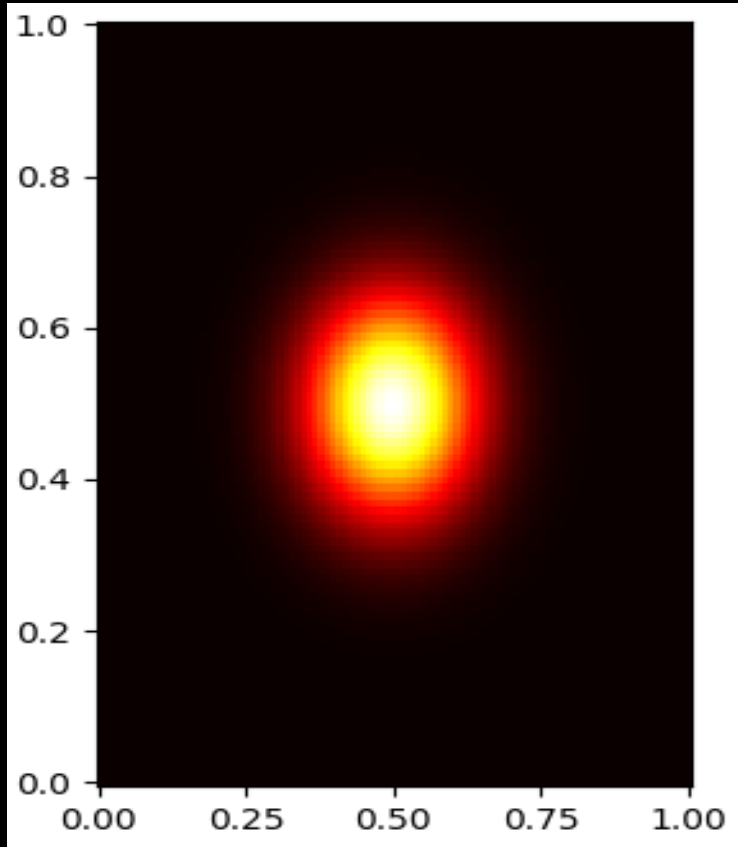


$$\frac{T_{i,j}^{m+1} - T_{i,j}^m}{ht} = D_{th} \left(\frac{T_{i+1,j}^m - 2T_{i,j}^m + T_{i-1,j}^m}{hx^2} + \frac{T_{i,j+1}^m - 2T_{i,j}^m + T_{i,j-1}^m}{hy^2} \right)$$

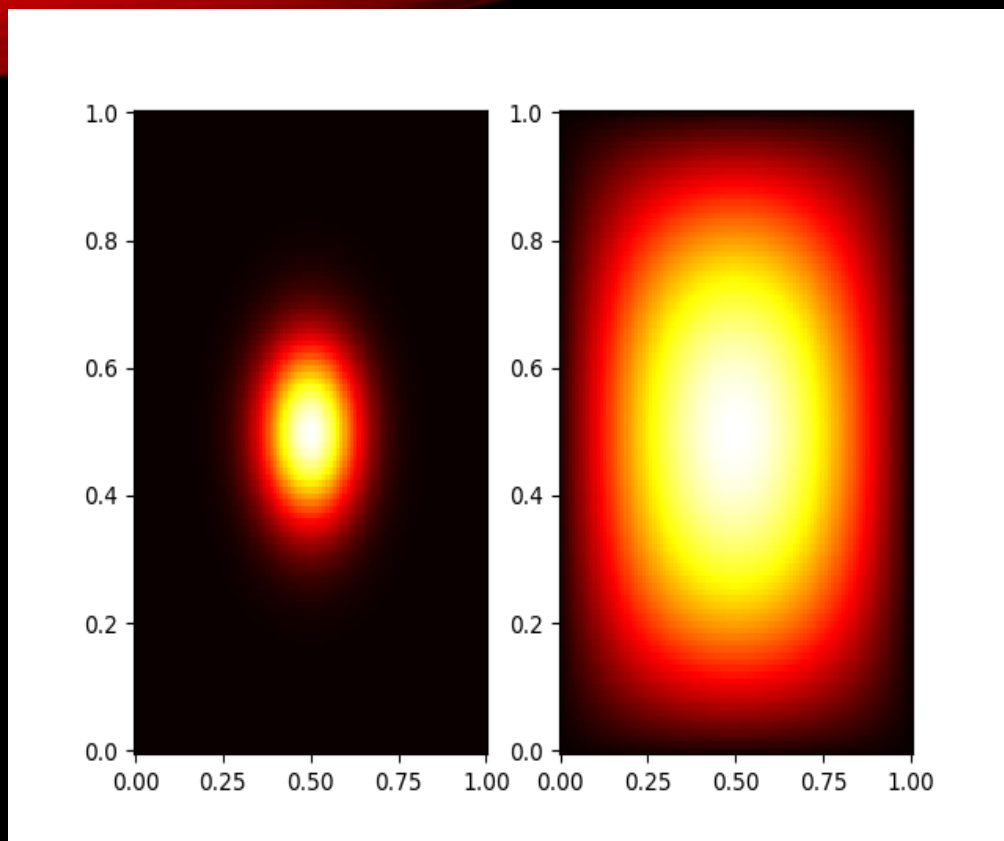
Après implémentation du schéma numérique suivant la méthode précédente , on obtient :

❑ La solution initiale ($t=0$):

* solution à $t=0.009s$

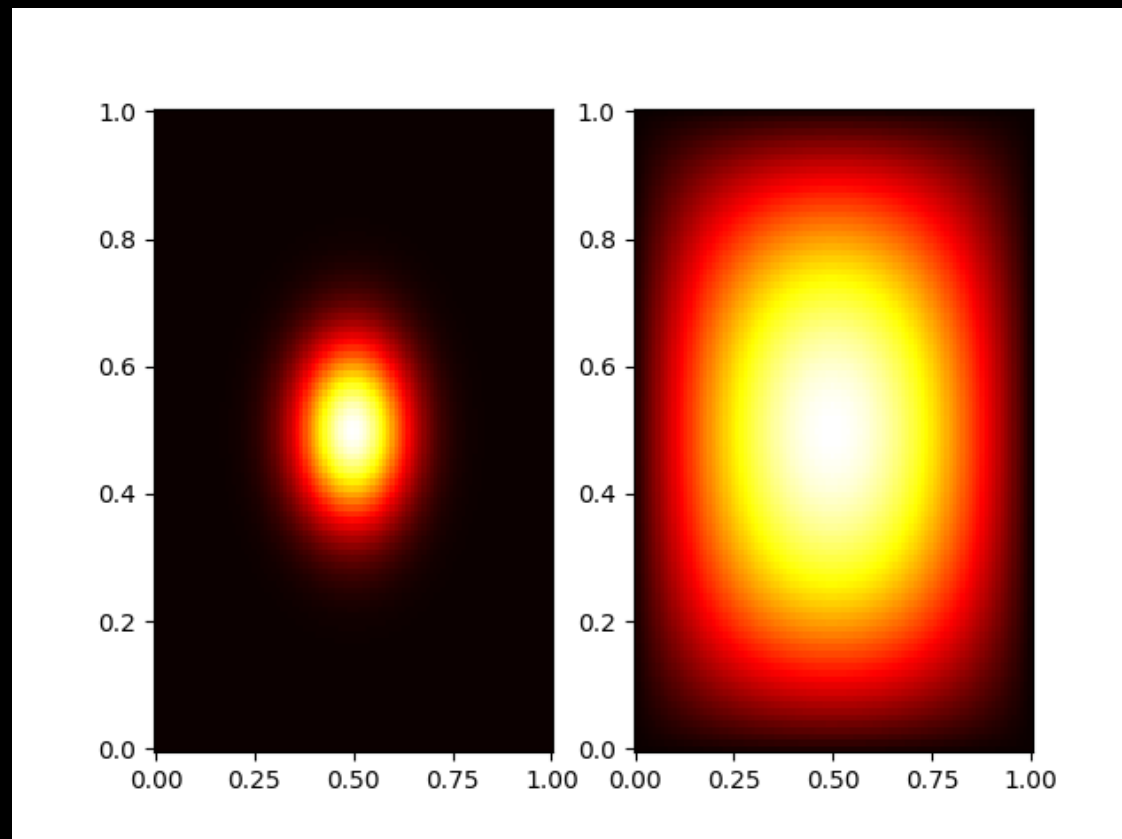


➤ la solution à $t = 1s$:



Implémentation de l'équation par **méthode de Cranck Nicholson**

* solution à $t=0$ et $t=1s$:



(voir (code python en annexe)

3) Etude de la stabilité en $\| \cdot \|_\infty$ des solutions :

S'il existe $c > 0$ tels que pour tout h_t, h_x assez petits ,

$$\| V^m \|_\infty \leq c \| V^0 \|_\infty \text{ avec } V^m = (T^m(X_{-N+1}), \dots, T^m(X_{N+1}))^T$$

alors , le schéma numérique est stable .

□ considérons l'équation de diffusion à 1D:

$$T^m(X_j) \approx T(X_j, m \cdot h_t)$$

$$V^m = (T^m(X_{-N+1}), \dots, T^m(X_{N+1}))^T \in \mathbb{R}^{2N-1}$$

$$V^{m+1} = M(\beta) V^m, \quad 0 \leq n \leq \frac{T}{\Delta T} \quad \text{avec } \beta = \mu \frac{\Delta T}{\Delta x^2} \text{ et } M(\beta) = I - \beta B \quad \text{où } B = \begin{pmatrix} 2 & -1 & \ddots & 0 \\ -1 & \ddots & \ddots & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}$$

$$\text{Pour } V^0 \text{ donnée} \longrightarrow V^m = M(\beta)^m V^0$$

$$\| V^m \|_\infty \leq \| M^m \|_\infty \| V^0 \|_\infty \quad \text{il faut borner } \| M^m \|_\infty \text{ indépendamment de } \Delta T, \Delta x^2 \text{ pour}$$

$$B \text{ fixé, et } 0 \leq n \leq \frac{T}{\Delta T}$$

→ Si $\beta \leq \frac{1}{2}$: alors , $\|M^m\|_\infty = \max_i \sum_j |m_{ij}| = 1$

$$\|V^m\|_\infty \leq \|M^m\|_\infty \|V^0\|_\infty = \|V^0\|_\infty$$

→ *schéma stable*

→

Si $\beta \geq \frac{1}{2}$:

Les vecteurs propres de $B \in M^{2N-1}(\mathbb{R})$: $\Phi^k = [\sin(q_k * i/2)]_{i=1 \dots 2N-1}$, $q_k = K \pi / 2N$ $k=1 \dots 2N-1$

Les valeurs propres de $M \in M^{2N-1}(\mathbb{R})$ $\lambda_k = 1 - 4\beta [\sin(q_k * i/2)]^2$

$$\lambda_{2N-1} = 1 - 4\beta + O(\Delta x^2) = - (4\beta - 1) + O(\Delta x^2) , 4\beta - 1 > 1$$

→ Si $n_0 = E(T / \Delta T) \longrightarrow \infty$

$$\frac{\|M^{m_0} \Phi^{2N-1}\|_\infty}{\|\Phi^{2N-1}\|_\infty} = |\lambda_{2N-1}|^{m_0} = (4\beta - 1)^{m_0} \exp(m_0 * O(\Delta T)) \longrightarrow \infty \quad \text{schéma instable}$$

III. Ecologie : notre environnement sera-t-il respectée ?

1) Position du problème et résolution :

La combustion du bois émet beaucoup de gaz carbonique. Chaque tonne de bois brûlé (à une humidité de 45 %) émet en général une tonne de CO_2 . Aux États-Unis, il a été démontré que les centrales électriques à la biomasse actuelles émettent jusqu'à 150% de plus de CO_2 que si elles brûlaient du charbon et 400 % plus de CO_2 que si elles carburaient au gaz naturel [1]

➤ Solution : Pour adapter cette énergie renouvelable pour l'avenir , On peut :

- ☐ Utiliser un système de double filtration des fumées
- ☐ Privilégié l'utilisation de gaz naturel au bois
- ☐ Associer cette production énergétique pour développer le transport vert.

IV. CONCLUSION

Objectifs	Validation ?
Méthodes permettant d'améliorer le rendu énergétiques dans une centrale de biomasse.	OUI
Etude de la production d'énergie	OUI
Analyse de la viabilité de la biomasse comme étant une source d'énergie pour demain	OUI

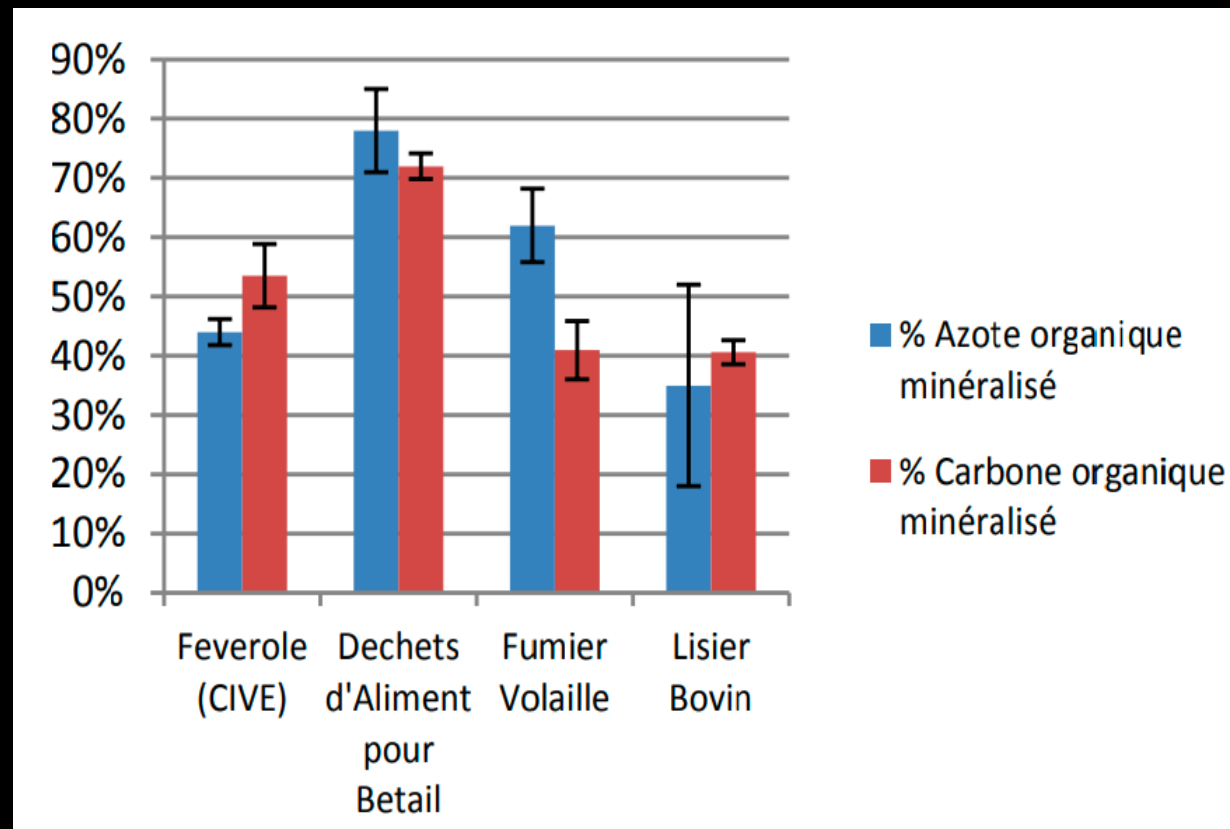
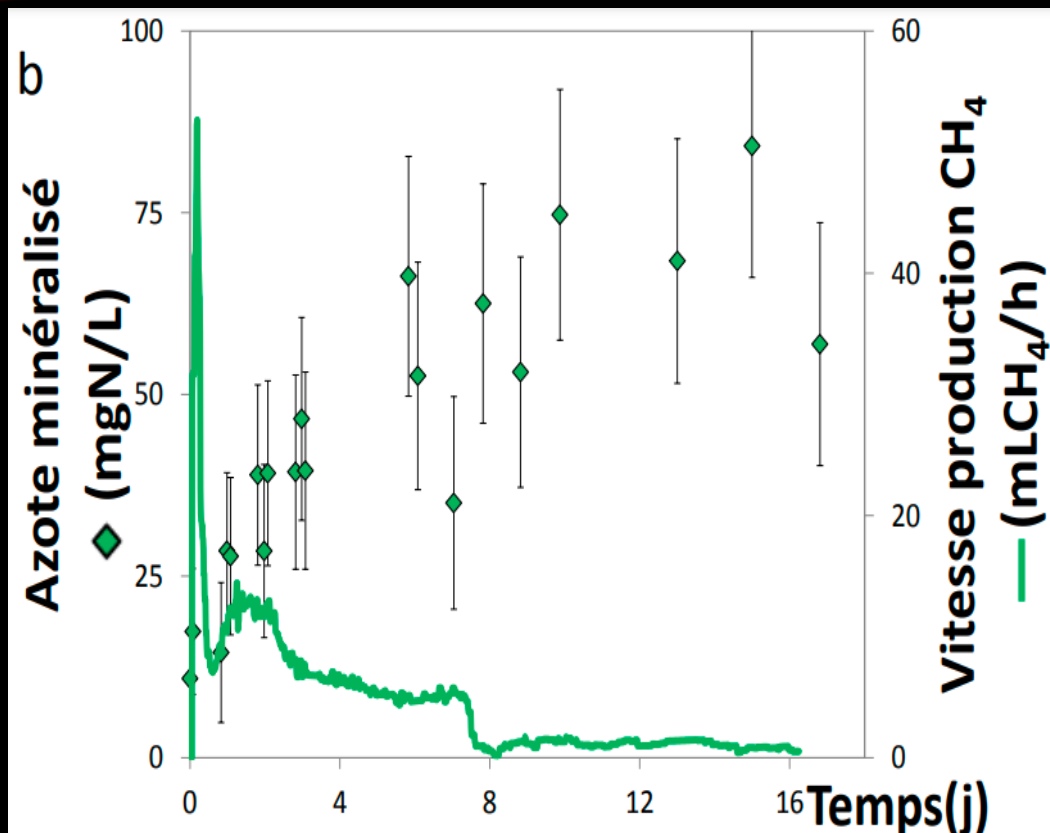
La biomasse semble être une solution énergétique pour demain car elle permet de produire de quantité énorme d'énergie tout en rejetant de très faible quantité de gaz carbonique .



MERCI POUR
VOTRE
ATTENTION

APPROCHE CINETIQUE DE LA REACTION DE METHANISATION :

- comparaison des biodégradabilité du carbone et l'azote :



❖ Références :

[1]: <https://www.encyclopedie-energie.org/biomasse-et-energie-des-ressources-primaires-aux-produits-energetiques-finaux/>

[2]: Etude des bobines couplées et transmission d'énergie à distance sous conditions de résonance : Luc Lasne François Mussaute, Ken Krieger, Ali Farah : Université de Bordeaux 1, Centre de Ressources en EEA 351, Cours de la Libération 33405 Talence cedex, France

[3]: <https://www.encyclopedie-energie.org/methanisation-du-traitement-des-eaux-usees-a-linjection-de-biomethane-dans-le-reseau/>

[4]: <https://www.encyclopedie-energie.org/biomasse-et-energie-des-ressources-primaires-aux-produits-energetiques-finaux/>

Code en python :

➤ Histogramme 2D :

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

fig = plt.figure()
ax = fig.add_axes([0, 0, 1, 1])

etiquettes = ['Eau blanches', 'Lisier de bovin', 'Fumier de bovin', 'Déchets verts',
              'fumier de volaille', 'Ensilage de ray grasse',
              'déchets de cuisine', 'déchets de céréales', 'graisses de STEP urbaine']
valeurs = [5, 15, 40, 68, 72, 94, 132, 204, 254]

ax.bar(etiquettes, valeurs, color='orange',
       edgecolor='blue', hatch='/')

plt.title("Histogramme")
plt.ylabel('Intrants')
plt.xlabel('Production en m³ (CH4/t)')
plt.show()
```

* code équation de la chaleur méthode LU :

eqt de la chaleur retenue.py - C:\Users\Daniel pc\Desktop\eqt de la chaleur retenue.py (3.8.5)

File Edit Format Run Options Window Help

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from math import *

T = 0.009
l = 1
M = 101
N = 4 * M ** 2
xx = np.linspace(0, 1, M)
yy = np.linspace(0, 1, M)
h = 1 / (M - 1)
k = T / (N - 1)
ll = k / h ** 2

X, Y = np.meshgrid(xx, yy)
U0 = np.exp(-50 * ((X - 1 / 2) ** 2) + (Y - 1 / 2) ** 2))

e = np.ones(M)
ee = np.ones(M - 1)
LM = -2 * (np.diag(e)) + np.diag(ee, 1) + np.diag(ee, -1)

V = U0
for i in range(N):
    V = V + ll * (np.dot(LM, V) + np.dot(V, LM))

ax1 = plt.subplot(121)
ax2 = plt.subplot(122)
ax1.pcolormesh(X, Y, U0, shading='auto', cmap=plt.cm.hot)
ax2.pcolormesh(X, Y, V, shading='auto', cmap=plt.cm.hot)
plt.show()
```

❖ Code méthode de Cranck Nicholson :

equation de la chaleur méthode de cranck Nicholson .py - C:\Users\Daniel pc\Desktop\equat...

File Edit Format Run Options Window Help

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from math import *

T = 1
l = 1
M = 101
N = 3 * M
xx = np.linspace(0, l, M)
yy = np.linspace(0, l, M)
h = l / (M - 1)
k = T / (N - 1)
ll = k / h ** 2

X, Y = np.meshgrid(xx, yy)
U0 = np.exp(-50 * ((X - l / 2) ** 2) + (Y - l / 2) ** 2))

def f(X, lam = ll):
    p, n = np.shape(X)
    e = np.ones(n)
    ee = np.ones(n - 1)
    L = -2 * np.diag(e) + np.diag(ee, 1) + np.diag(ee, -1)
    return X - (lam / 2) * (np.dot(L, X) + np.dot(X, L))

def b(X, lam = ll):
    p, n = np.shape(X)
    e = np.ones(n)
    ee = np.ones(n - 1)
    L = -2 * np.diag(e) + np.diag(ee, 1) + np.diag(ee, -1)
    return X + (lam / 2) * (np.dot(L, X) + np.dot(X, L))
##On utilise ici le gradient à pas fixe!

def gradfixe(B, X0, p, tol = 10 ** (-6)):
    X = X0
    res = f(X) - B
    while np.linalg.norm(res) > tol:
        X = X - p * res
        res = f(X) - B
    return X
```

1/2

equation de la chaleur méthode de cranck Nicholson .py - C:\Users\Daniel pc\Desktop\equat...

File Edit Format Run Options Window Help

```
yy = np.linspace(0, l, M)
h = l / (M - 1)
k = T / (N - 1)
ll = k / h ** 2

X, Y = np.meshgrid(xx, yy)
U0 = np.exp(-50 * ((X - l / 2) ** 2) + (Y - l / 2) ** 2))

def f(X, lam = ll):
    p, n = np.shape(X)
    e = np.ones(n)
    ee = np.ones(n - 1)
    L = -2 * np.diag(e) + np.diag(ee, 1) + np.diag(ee, -1)
    return X - (lam / 2) * (np.dot(L, X) + np.dot(X, L))

def b(X, lam = ll):
    p, n = np.shape(X)
    e = np.ones(n)
    ee = np.ones(n - 1)
    L = -2 * np.diag(e) + np.diag(ee, 1) + np.diag(ee, -1)
    return X + (lam / 2) * (np.dot(L, X) + np.dot(X, L))
##On utilise ici le gradient à pas fixe!

def gradfixe(B, X0, p, tol = 10 ** (-6)):
    X = X0
    res = f(X) - B
    while np.linalg.norm(res) > tol:
        X = X - p * res
        res = f(X) - B
    return X

U = U0
for i in range(N):
    U = gradfixe(b(U), U, 0.01, tol = 10 ** (-2))
ax1 = plt.subplot(121)
ax2 = plt.subplot(122)
ax1.pcolormesh(X, Y, U0, shading='auto', cmap = plt.cm.hot)
ax2.pcolormesh(X, Y, U, shading='auto', cmap = plt.cm.hot)
plt.show()
```

2/2

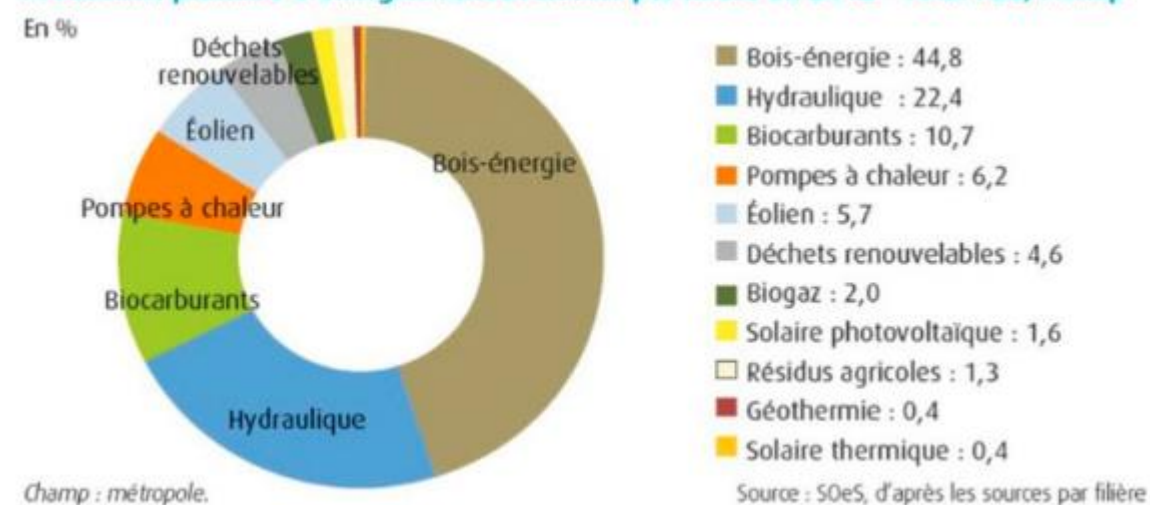
Statistique sur la consommation de biogaz dans le monde :

Tableau 1 : Biomasse en % de la consommation d'énergie primaire de diverses régions du monde

Monde	10,4	Chine	7,1
Pays membres de l'OCDE	5,7	Inde	23,5
Japon	2,5	Brésil	27,7
Etats-Unis	4,7	Afrique	47,6
Europe	8,2	Afrique sub-saharienne	61,0
Pays non membres de l'OCDE	13,9	Afrique de l'Ouest	74,6
Moyen-Orient	0,1	Afrique du Centre	78,4
Russie	1,1	Afrique de l'Est	84,8

Source : IEA, World Energy Outlook 2016 et Africa Energy Outlook 2014.

Production primaire d'énergies renouvelables par filière en 2012 – Total : 22,4 Mtep



Source : [4]