



Home
Journals List
Statistics
Our Journals

TOP 50 Most Downloaded Articles

For Publishers
Apply for Evaluation / Free Service

Journal Search
OAJI Logo

Advertising options on OAJI

Contact Us

Recently Added Articles

[International Journal Of Engineering Research and General Science](#)

[ÁGORA: Revista do Arquivo Público do Estado de Santa Catarina & Curso de Arquivologia da Universidad](#)

[Journal of community health research](#)

[Albanian Medical Journal](#)

Register Journal

Our partners



Visitors Counter

| | |
|------------|--------|
| Today | 892 |
| Yesterday | 1101 |
| This week | 3065 |
| Last week | 7934 |
| This month | 25903 |
| Last month | 34024 |
| All days | 496400 |

Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé

Published by [Direction de la Recherche de l'Université de Lomé](#)

Year publication 1995

Frequency 4

Article Publishing Frequency 0

Impact Factor OAJI 2012 —

Abbreviation J. Rech. Sci. Univ. Lomé

Country Togo

ISSN (print) 1727-8651

ISSN (online) 2413-354X

Journal Website <http://www.ajol.info/index.php/jrsul/issue/archive>

Editor in Chief Ampah Kodjo Christophe JOHNSON

ISI — **All articles** [1](#) **Date added to OAJI** 21 Nov 2015

Scopus — **All issues** [17](#) **Free access** 1995-2015

DOAJ — **Full text language** French/english

Journal discipline

Multidisciplinary Sciences

Journals

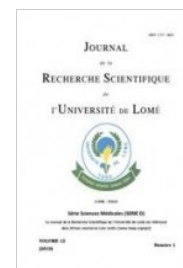
[353](#)

Journal description

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo) est un journal international et pluridisciplinaire qui publie des travaux de recherche rédigés en français ou en anglais. Le journal paraît quatre fois par an (quatre numéros par an). Il reçoit des articles originaux, des revues de la littérature, des petites communications, des commentaires et critiques d'articles et des études de cas.

Journal is indexed by

AJOL, Google scholar, ResearchBib





20 Brilliant Inventions
20 Seriously Brilliant Inventions
Which Will Change Your Life

[Home](#) [Paper Archives](#) [Journal Indexing](#) [Research Conference](#) [Research Position](#)

Google Like 0 G+ Partager 0 Tweet

Main Menu

[My Profile](#)
[My Journal](#)
[Add Journal](#)

Searching By

[Search More ...](#)

News Notice

Your email

[Subscribe](#)

[Feedburner](#)

Ads

[Ads by Google](#)

[Open Journ](#)

[Sci Journal](#)

Journal de la recherche scientifique de l'Université de Lomé (ISSN: 1727-8651)

Publisher: Direction de la Recherche de l'Université de Lomé

ISSN-L: 1727-8651

ISSN: 1727-8651

E-ISSN: 2413-354X

IF(Impact Factor) : 2016 Evaluation Pending

Website: <http://www.ajol.info/index.php/jrsul/index>

Regarder TV en Ligne
Transformez Votre PC en Télévision.
Regardez avec TelevisionFanatic™!

1. [Recherche et documentation - Comité de direction scientifique, Centre de documentation en sciences humaines, Université du Québec à Montréal](#)
2. ["Bulletin signalétique - Centre national de la recherche scientifique. 110, Informatique, automatique, recherche opérationnelle, gestion"](#)
3. ["Bulletin signalétique - Centre national de la recherche scientifique. 110, Analyse numérique, informatique, automatique, statistique et probabilités, recherche opérationnelle, gestion, économie"](#)
4. [VIE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE](#)
5. [Université, recherche et développement](#)

Description

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé (Togo) est un journal international et pluridisciplinaire qui publie des travaux de recherche rédigés en français ou en anglais dans les domaines des Lettres et Sciences Humaines, des Sciences Fondamentales et Appliquées, des Sciences Juridiques, Économiques et de gestion. Le journal paraît quatre fois par an (quatre volumes par an). Le journal reçoit des articles originaux, des revues de la littérature, des petites communications, des commentaires et critiques d'articles et des études de cas

Last modified: 2015-10-13 07:56:54

Volumes

[Vol.16 No.1](#)

0 Comments

Sort by [Oldest](#)



Add a comment...

[Facebook Comments Plugin](#)

Advertisement

[facebook](#)

Créer un profil Facebook

Ses amis, sa famille et Copains de classe.
Créez un profil!

[Inscrivez-Vous](#)



About

[ResearchBib](#)
[Contact us](#)
[Advertise](#)
[Careers](#)

Resources

[Research Conference](#)
[Research Position](#)
[Journal Indexing](#)
[Paper Archives](#)

Legal

[Terms of Service](#)
[Privacy Policy](#)
[Ad Choices](#)
[Cookies](#)

ETUDE DE LA PYROLYSE EN ANALYSE THERMOGRAVIMETRIQUE DU CARTON : CINETIQUE DOUBLE ETAPE EN REGIME ISOTHERME

KPLE M.^{1,2,3}, GIRODS P.¹, ANJORIN M.², FAGLA B.², ROGAUME Y.¹, FURDIN G.¹,
OUIMINGA S.³, KOULIDIATI J.³, SANYA E.², DEGAN G.²

1- Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériau Bois, Université de Lorraine, UMR 1073, INRA, ENGREF, UHP, ENSTIB 27, rue Philippe Seguin, BP 1041, 88 051 Epinal Cedex, France

2- Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009, Cotonou, Bénin.

3- Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement, Université de Ouagadougou, UFR des Sciences Exactes et Appliquées, Département de Physique, 03 BP 7021 Ouagadougou 03 - Burkina Faso.

E-mail : melhyas.kple@univ-lorraine.fr / christnel2@yahoo.fr

Tél : +337 85 79 98 07 / +229 66 62 93 62

(Reçu le 03 Avril 2014 ; Révisé le 05 Mai 2014 Accepté le 15 Juillet 2014)

RESUME

La pyrolyse semble être un procédé adapté au traitement des déchets à base de carton. Afin d'optimiser les conditions expérimentales du procédé de pyrolyse et d'apporter des éléments pour le dimensionnement d'une installation, une étude du comportement thermique du carton est indispensable. Dans le présent document, l'étude de la dégradation thermique d'échantillons de carton en conditions de pyrolyse a été réalisée par analyse thermogravimétrique. Des essais en régime isotherme sous atmosphère inerte (sous argon) à différentes températures 250, 280, 300 et 320°C ont été réalisés. Ces isothermes ont été choisies après détermination de la plage de température de dégradation du carton en utilisant l'ATG en régime dynamique.

Un modèle cinétique en deux phases de pyrolyse a été utilisé pour déterminer les paramètres cinétiques : l'énergie d'activation, le facteur pré-exponentiel de la pyrolyse du carton ondulé dans les conditions isothermes.

Mots clés : Analyse Thermogravimétrique, Carton, Cinétique, Energie d'Activation

ABSTRACT

Pyrolysis appears to be a suitable method for the treatment of waste cardboard. To optimize the experimental conditions of the pyrolysis process and to provide elements for the design of a thermal degradation reactor, a study of the thermal behavior of the board is essential. In this document, the thermal degradation of the study of cardboard pyrolysis conditions was carried out by thermogravimetric analysis. Tests in isothermal regime under an inert atmosphere (argon) at different temperatures 250, 280, 300 and 320°C were carried out. These isotherms were chosen after determination of the temperature range of thermal degradation of cardboard using TAG in dynamic mode.

A kinetic model of two-phase pyrolysis was used to determine kinetic parameters: the activation energy, the pre-exponential factor of the pyrolysis of the corrugated cardboard in the isothermal conditions.

Keywords: Thermogravimetric Analysis, Cardboard, Kinetic, Activation Energy

1. INTRODUCTION

De nos jours, la gestion des déchets municipaux matière de développement demeure le plus grand problème environnemental des pays ouest-africains et plus particulièrement le Bénin. Le développement des villes conduit inévitablement à l'accumulation des quantités des déchets de plus en plus importantes et centralisées.

Le carton est largement utilisé aujourd'hui pour le conditionnement de la nourriture et de divers équipements. Ce matériau représente plus de 30% des déchets municipaux (David, Salvador et al. 2003). Au Bénin, le carton représente 7% en masse de la part combustible des déchets de la ville d'Abomey-Calavi (Topanou, Domeizel et al. 2011). Le recyclage n'est pas toujours possible, soit c'est difficile lors du tri, soit c'est le matériau qui est trop sale. La valeur élevée de son pouvoir calorifique inférieur (15 500 kJ/kg) et les faibles polluants lors de sa dégradation thermique font de sa valorisation une perspective très intéressante. La pyrolyse est l'une des meilleures voies qui peuvent être utilisées (David, Salvador et al. 2003). Des composés de valeur énergétique importante peuvent être produits à partir de la pyrolyse des déchets de carton. Le carton est un matériau complexe composé essentiellement de cellulose. Très peu d'études ont été consacrées à l'étude de la cinétique de sa pyrolyse. Les schémas de réaction trouvés dans la littérature sont essentiellement basés sur des conditions non-isothermes. En effet, Gupta (Gupta 1999) a proposé un schéma réactionnel en deux étapes, avec différents ensembles de paramètres d'Arrhenius en fonction de la vitesse de chauffe. Ce schéma a été suggéré par la forme des

courbes de la perte de masse, dans laquelle deux régions avec différents taux de perte de masse ont clairement été identifiées. En raison des compositions chimiques similaires, on peut considérer que le comportement du carton lors de la pyrolyse est similaire à celui du papier (Wu, Chang et al. 1997; Gupta 1999), du bois (Alen, Kuoppala et al. 1996; Girods 2008), et de la cellulose (Hajaligol, Howard et al. 1982; Hajaligol, Peters et al. 1988; Antal and Varhegyi 1995; Milosavljevic and Suuberg 1995; Milosavljevic, Oja et al. 1996; Missoum, Gupta et al. 1996) auxquels de nombreux articles ont été consacrés. Dans leurs travaux, David, C. et al (David, Salvador et al. 2003) ont utilisé les principaux schémas de ces différents auteurs pour déterminer lequel s'adapte le mieux au carton en régime dynamique. L'objectif de ce travail est d'étudier la cinétique de la pyrolyse du carton en déterminant les paramètres d'Arrhenius dans les conditions isothermes. Un modèle à deux étapes, celui utilisé par David, C. et al (David, Salvador et al. 2003), a été considéré pour rendre compte de la perte de masses des échantillons en fonction du temps et de la température.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Le matériau brut

Le matériau brut utilisé dans ce travail est du carton ondulé généralement retrouvé dans les déchets solides ménagers de la ville d'Abomey-Calavi au Bénin. Les déchets de carton sont découpés en petites pièces (approx. 1 mm²) et utilisés dans le réacteur de pyrolyse.

1.2. Analyse ThermoGravimétrique

La pyrolyse est la dégradation thermique d'un combustible dans une atmosphère inerte et à une température donnée.

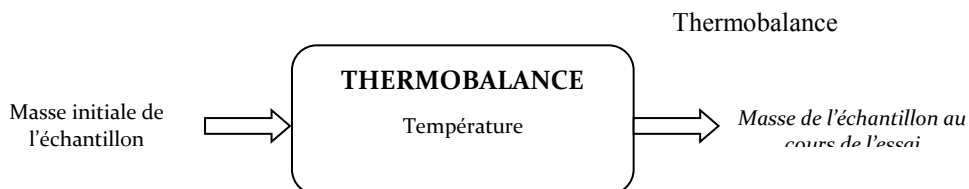


Figure 1 : Données d'entrée et de sortie de la

Etude de la pyrolyse en analyse thermogravimétrique du carton : cinétique double étape en régime isotherme

Analyse en régime dynamique

Un échantillon de masse comprise entre 30 et 50 mg de déchet de carton a été chauffé de 20 à 900°C. L'Analyse Thermogravimétrique a été effectuée à différents taux de chauffage de 5, 10, 20, 30, 40 et 50K/min sous 20mL/min de gaz inerte, soit l'argon une vitesse de chauffe de 10K/min. Les courbes de perte de masse et de la dérivée de perte de masse en fonction de la température ont été tracées. Ces courbes donnent la plage de température dans laquelle la dégradation du carton s'effectue.

1.2.1. Analyse thermogravimétrique en régime isotherme

Les essais effectués dans des conditions isothermes ont pour avantage d'étudier la cinétique des réactions sans influence des effets thermiques engendrés par la montée en température. Le carton est chauffé dans le four à des isothermes T selon les résultats obtenus

par l'étude en mode dynamique. Le programme de montée en température est le suivant :

- montée en température de 20 à $(T-20)^\circ\text{C}$ à 50 K/min;
- montée en température de $(T-20)^\circ\text{C}$ à $(T-10)^\circ\text{C}$ à 30K/min;
- montée en température de $(T-10)$ à $T^\circ\text{C}$ à 10 K/min;
- isotherme à $T^\circ\text{C}$ en un temps t en min.

Le choix des vitesses de montée en température est motivé par l'atteinte de la température T le plus rapidement possible (sans dépassement de la température de consigne) afin de limiter la dégradation de l'échantillon aux températures inférieures (Figure 2).

La température maximum pour ces essais a été fixée à 320°C dans la mesure où au-delà de celle-ci, la perte de masse pendant la phase de chauffe est trop importante (de l'ordre de 50 %) pour pouvoir exploiter les résultats.

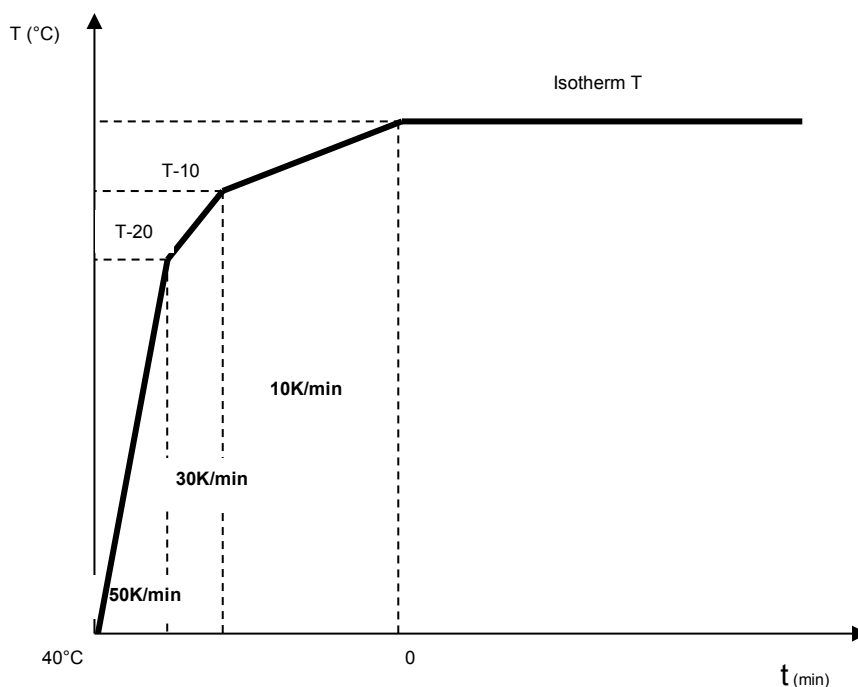
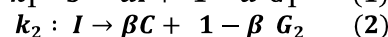
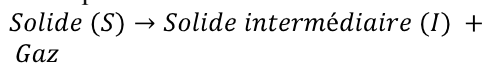


Figure 2 : Programme de montée en température des échantillons

1.2.2. Modèle cinétique

La réaction de dégradation du combustible dans une approche mathématique se compose des étapes suivantes :



Les expressions mathématiques traduisant ces réactions sont :

$$\frac{dm_S}{dt} = -k_1 m_S \quad (3)$$

$$\frac{dm_I}{dt} = -\alpha \left(\frac{dm_S}{dt} - k_2 m_I \right) = \alpha (k_1 m_S - k_2 m_I) \quad (4)$$

$$\frac{dm_C}{dt} = \beta k_2 m_I \quad (5)$$

$$k_1 = k_{01} e^{\left(-\frac{E_{a1}}{RT}\right)} \text{ et } k_2 = k_{02} e^{\left(-\frac{E_{a2}}{RT}\right)} \quad (6)$$



$$m_S = -m_0 e^{-k_1 t} \quad (7)$$

$$\frac{m_I}{m_0} = \frac{\alpha k_1}{k_1 - \alpha k_2} e^{-\alpha k_2 t} - e^{-k_1 t} \quad (8)$$

$$\frac{m_C}{m_0} = \frac{\beta \alpha k_2}{k_1 - \alpha k_2} e^{-k_1 t} - \frac{\beta k_1}{k_1 - \alpha k_2} e^{-\alpha k_2 t} + \beta \quad (9)$$

$$m_t = m_S + m_I + m_C \quad (10)$$

1.2.3. Nomenclature

- m_s : masse du solide initial ;
- m_i : masse du solide intermédiaire ;
- m_C : masse du charbon ;
- m_0 : masse initiale de carton ;
- m_t : la masse totale de l'échantillon ;
- k_1 et k_2 : constantes de vitesse (min^{-1});
- α et β : constantes réelles ;

- E_{a1} et E_{a2} : Energies d'activation liées à chaque phases du processus de la réaction ;
- K_{01} et K_{02} : facteur pré-exponentiel liés à chaque phases du processus de la réaction ;
- t : durée de la réaction en minutes ;
- T : température de la réaction

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Caractérisation du carton

Les tableaux I et II suivants présentent respectivement les analyses élémentaire et immédiate du carton. Ces analyses ont été effectuées sur du matériau anhydre obtenu après séchage à l'étuve. Le séchage pendant 48 heures du carton brut à l'étuve permet de

déterminer le taux d'humidité. La composition élémentaire a été effectuée par un laboratoire extérieur. Ainsi, la composition en carbone, hydrogène et azote a été déterminé. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux rencontrés dans la littérature.

Tableau I : Analyse élémentaire du Carton

| Eléments | C | H | S | O | N |
|---|------|-----|-------|------|------|
| Présente étude | 41,8 | 6,3 | - | 51,7 | 0,13 |
| Bourchenin (Bourchenin 1999) | 43,7 | 5,7 | 0,2 | 44,9 | 0,09 |
| Zhou etAl (Zhou, Yang et al. 2013) | 43 | 5,4 | 0,094 | 41,7 | 0,16 |
| Leyssens (Leyssens, Trouvé et al. 2014) | 45,8 | 4,7 | <0,1 | 39,9 | <0,1 |

Tableau II : Analyse immédiate du carton

| | Matière Volatile (%) | Carbone Fixe(%) | Taux de Cendre (%) | Humidité (%) |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| Présente étude | 81,93 | 7,45 | 10,62 | 6,7 |
| Zhou and Al(Zhou, Yang et al. 2013) | 83,1 | 7,3 | 9,6 | 5,4 |

2.2. ATG en régime dynamique

La figure 3 montre les résultats de la pyrolyse du carton en mode dynamique à des taux de chauffage de 5, 10, 20, 30, 40 et 50 K/min. Ces résultats montrent que le carton se dégrade entre 200-400°C comme il est généralement

rencontré dans la littérature (David, Salvador et al. 2003). Une deuxième décomposition se produit à haute température après 650°C et est certainement liée aux produits secondaires additionnés lors de la fabrication du carton.

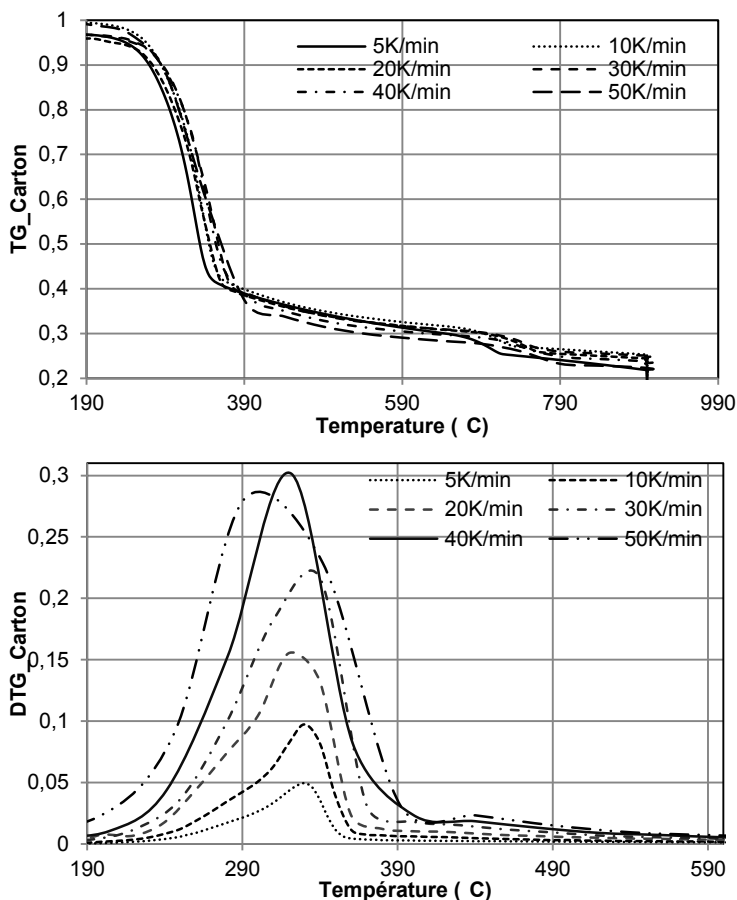


Figure 3 : TG et DTG de la pyrolyse du carton

La principale décomposition entre 200 et 400°C reflète une sensibilité de la vitesse de décomposition par rapport à la température. En effet, les températures initiales et finales de la dégradation du carton sont de 250 et 350°C, 245 et 355°C, 235 et 360, 230 et 370, 210 et 390°C, 200 et 400°C pour les vitesses de

décomposition de 5, 10, 20, 30, 40 et 50K/min respectivement.

La figure 4 donne la variation de la température T_p pour laquelle on observe le pic le plus élevé (dégradation maximale) de la pyrolyse du carton.

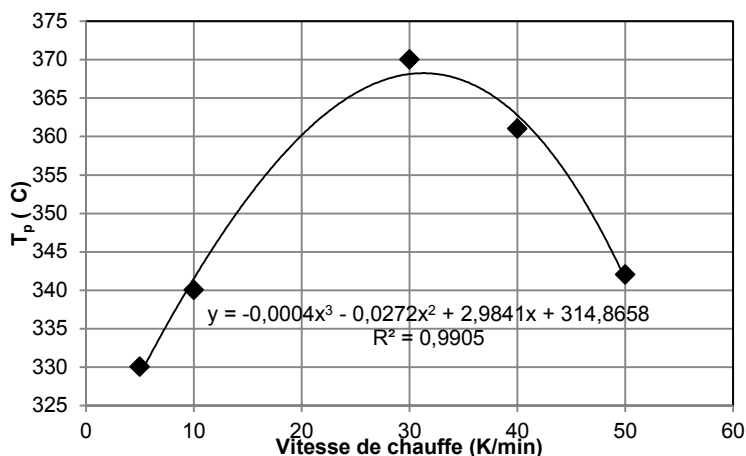


Figure 4 : variation de T_p en fonction de la vitesse de chauffe

La figure 4 montre que l'allure de la courbe trouvée est une parabole avec une première partie croissante et une deuxième décroissante. Ces résultats sont en divergence avec ceux trouvés dans la littérature qui semblent donner une allure croissante du T_p en fonction du taux de chauffage (Alvarenga, Xavier et al.; Reyes, Conesa et al. 2001). Selon les résultats de la présente étude, la température la plus élevée où l'on obtient le pic de la DTG lors de la pyrolyse est de 369°C (avec un taux de chauffage $a = 30\text{K/min}$) pour le carton.

2.3. Etude cinétique du carton en conditions isothermes

Pour la détermination des paramètres

cinétiques, deux méthodes ont été utilisées : dans un premier temps, les valeurs de TG et DTG ont été calculées à partir des équations ci-dessus. Les valeurs de K ont été optimisées indépendamment en minimisant la fonction d'erreur $\sum \text{Erf}_{DTG}$ (car les DTG étant beaucoup plus sensible que les TG) entre les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques obtenues avec la fonction Solver de Microsoft Office. Ainsi, les paramètres cinétiques E_{ai} et K_{oi} sont déterminés en trouvant les équations des droites $\ln(k_i)$ ci-dessus. Dans un deuxième temps, les valeurs K_i données dans le tableau III sont déterminées en utilisant les valeurs de E_{ai} et K_{oi} déterminées.

$$\text{Erf}_{DTG} = \int_{t=0}^{t=\infty} DTG_{\text{Experimental}} - DTG_{\text{model}}^2 \quad (11)$$

Etude de la pyrolyse en analyse thermogravimétrique du carton :
cinétique double étape en régime isotherme

Tableau III : Valeurs des paramètres k_1 et k_2

| Température (°C) | $k_{1\text{modèle}}$ | $k_{2\text{modèle}}$ |
|------------------|----------------------|----------------------|
| 250 | 0,0208 | 0,0139 |
| 280 | 0,0722 | 0,0225 |
| 300 | 0,1540 | 0,0301 |
| 320 | 0,3121 | 0,0396 |

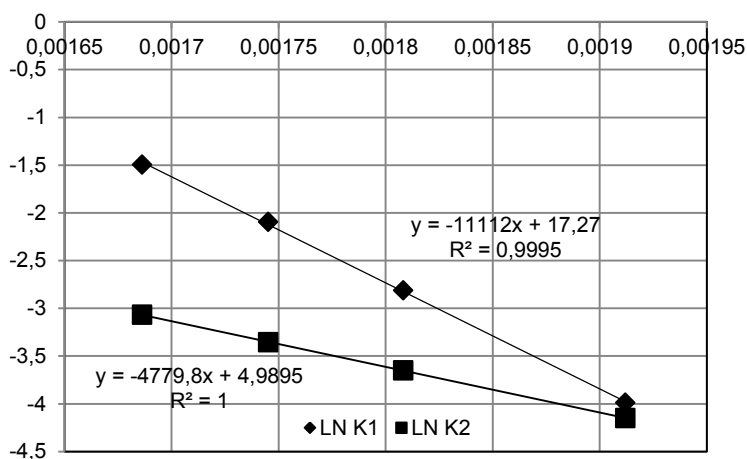


Figure 5 : Courbes $\ln K_i$ en fonction de $1/T$

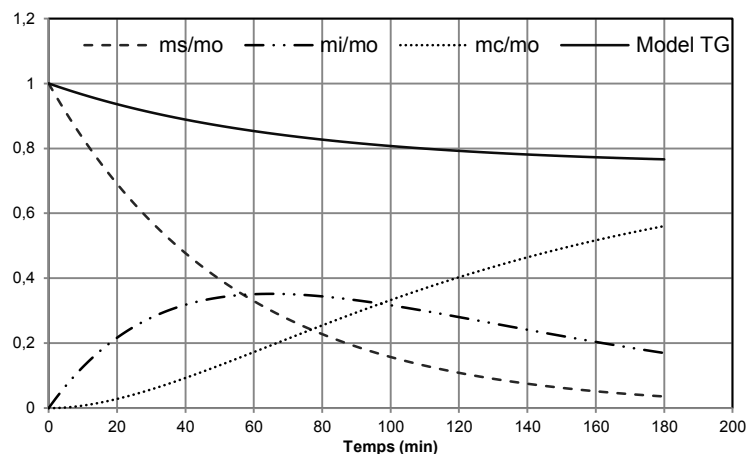


Figure 6 : Diverses composantes de la TG en fonction du temps

Le tableau III et la figure 5 donnent respectivement les valeurs K_i et les droites $\ln K_i$ en fonction de $1/T$. Les valeurs R^2 de 0,999 et de 1 montrent une bonne corrélation du modèle. La figure 6 montre les allures des

courbes m_s , m_i , m_c composantes de la courbe de perte de masse TG du modèle. Les résultats montrent que :

- m_s est décroissante toute la réaction de

pyrolyse, ceci s'explique par la transformation du Solide initial S en un solide intermédiaire I ;

- L'allure de m_t comporte deux parties, une partie croissante qui exprime la rapide production du solide intermédiaire I et une deuxième partie décroissante qui s'explique par

la transformation du solide I en produits gazeux et du charbon ;

- m_c est croissante tout le long de la réaction de pyrolyse jusqu'à la valeur finale de la masse du charbon.

Tableau IV : Paramètres d'Arrhenius de la cinétique du carton en isotherme

| | E_{a1} (J/mol) | E_{a2} (J/mol) | K_{o1} (min ⁻¹) | K_{o2} (min ⁻¹) |
|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Modèle | 92 385 | 39 733 | $3,2 \cdot 10^7$ | 146,78 |
| (David, Salvador et al. 2003) | 125 850 | 74 422 | $3,02 \cdot 10^8$ | 340 |
| (Loulou, Salvador et al. 2003) | 101 107 | 67 648 | $1,07 \cdot 10^8$ | 19 824 |

Le tableau IV donne les résultats des constantes d'Arrhenius trouvés pour la présente étude dans des conditions isothermes. Ces résultats comparés à ceux trouvés dans la littérature, on remarque que les paramètres cinétiques (E_a et K_o) en régime isotherme sont inférieurs à ceux du régime dynamique trouvés avec le même type de modèle.

3. CONCLUSION

Les paramètres cinétiques de la pyrolyse du carton ondulé ont été déterminés dans les conditions isothermes en utilisant l'Analyse Thermogravimétrique.

Les essais sur l'ATG montrent que le taux de chauffage a un rôle important dans la

dégradation thermique des combustibles concernant la réaction de pyrolyse. En effet, lorsque le taux de chauffage augmente, la plage de température de la dégradation thermique aussi augmente. La dégradation maximale du carton s'effectue (température du pic observé sur la DTG) à 330, 340, 355, 370, 360 et 342 °C pour les taux de chauffage de 5, 10, 20, 30, 40 et 50K/min respectivement. Les Energies d'activation des deux phases considérées de la réaction de pyrolyse en conditions isothermes ont donné $E_{a1} = 92\ 385$ J/mol, $E_{a2} = 39\ 733$ J/mol. L'ensemble des résultats obtenus montrent que le modèle à deux étapes utilisé pour la cinétique du carton en régime isotherme est acceptable.

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ALEN R., KUOPPALA E. et al., 1996. *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 36, 137-148.
2. ALVARENGA, L. M., XAVIER T. P. et al., ANNEE. "Analysis of Reaction Kinetics of Carton Packaging Pyrolysis." *Procedia Engineering* 42(0), 113-122.
3. ANTAL M. J. and VARHEGYI G., 1995. *Ind. Eng. Chem. Res.* 34: 703.
4. BOURCHENIN A., 1999. Etude de la

dégradation thermique de composés représentatifs de la fraction combustible des déchets ménagers France, Université de Poitiers. *Diplôme d'Etudes Pratiques Scientifiques*

5. DAVID C., SALVADOR S. et al., 2003. "Determination of a reaction scheme for cardboard thermal degradation using thermal gravimetric analysis." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 67(2), 307-323.

Etude de la pyrolyse en analyse thermogravimétrique du carton :
cinétique double étape en régime isotherme

6. GIRODS P., 2008. Procédé multi-étagé de valorisation des déchets Bois type Panneaux de Particules. Sciences du bois. Nancy, FRANCE, Université Henry Poincaré. *Thèse de Doct.*, 278.
7. GUPTA A. K., 1999. *J. Propulsion Power*, 15(2), 187.
8. HAJALIGOL M. R., HOWARD J. B. et al., 1982. *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev.*, 21, 457.
9. HAJALIGOL M. R., PETERS W. A. et al., 1988. *Symp. Fund. Res. in Heat and Mass Transfer in Two and Three Phase System, AICHE, Washigton DC.*
10. LEYSSENS G., TROUVE G. et al., 2014. "Energetic performances and environmental impact of the combustion of cardboard/sawdust in a domestic boiler." *Fuel*, 122(0), 21-27.
11. LOULOU T., SALVADOR S. et al., 2003. "Determination of Reaction Parameters for Cardboard Thermal Degradation Using Experimental Data." *Chemical Engineering Research and Design*, 81(9), 1265-1270.
12. MILOSAVLJEVIC I., OJA J. M. et al., 1996. *Ind. Eng. Chem. Res.* 35: 653.
13. MILOSAVLJEVIC I. and SUUBERG E. M., 1995. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34(4), 1081.
14. MISSOUM A., GUPTA A. K. et al., 1996. *ASME Computers in Engineering Conference, California.*
15. REYES J. A., CONESA J. A. et al., 2001. "Pyrolysis and combustion of polycoated cartons: kinetic model and MS-analysis." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 58-59(0), 747-763.
16. TOPANOU N., DOMEIZEL M. et al., 2011. "Characterization of Household Solid Waste in the Town of Abomey-Calavi in Benin." *Journal of Environmental Protection*, 2, 692-699.
17. WU C. H., CHANG C. Y. et al., 1997. *J. Chem. Tech. Biotech*, 68, 65.
18. ZHOU C., YANG W. et al., 2013. "Characteristics of waste printing paper and cardboard in a reactor pyrolyzed by preheated agents." *Fuel Processing Technology*, 116(0), 63-71.