



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة غرداية

مجلة الواحات للبحوث والدراسات

تصدر عن جامعة غرداية - الجزائر

رمد: 1112-7163

المجلة الواحات للبحوث والدراسات

ISSN: 1112-7163

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaïa



Revue « ELWAHAT » pour les Recherches et les Etudes

Editée par l'Université de Ghardaïa - Algérie

العلوم التطبيقية

Sciences Appliquées



المجلد: 10 العدد: 01، جوان 2017

الجزء

A

الجزء A

المجلد: 10 العدد: 01، جوان 2017

Volume 10 N° 01, Juin 2017

Section A

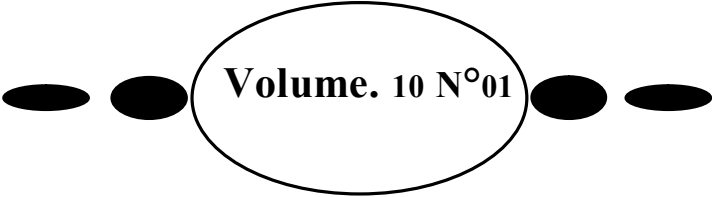
ELWAHAT

Republique Algerienne Démocrtique et Polulaire
Minister de l'Enseignement Superieur et de la
Recherche Scientifique

Université de Ghardaïa

Revue ELWAHAT pour les Recherches et
les Etudes

Revue scientifique académique à comité de lecture, éditée
par l'université de Ghardaïa- Algérie



Volume. 10 N°01

Juin 2017

**Revue ELWAHAT pour les Recherches
et les Etudes**

**Dépôt légal 2763/2006
I.S.S.N 1112 - 7163**



La revue « ELWAHAT» pour les Recherches et les Etudes **ISSN: 1112-7163**

Est une revue scientifique à comité de lecture pluridisciplinaire avec des universitaires et des experts de renommé international. La revue « ELWAHAT» pour les Recherches et les Etudes publie des travaux de recherche dans tous les aspects de recherche. Elle publie des articles de recherche originaux, des notes de recherche et commentaires dans des domaines multiples.

La revue « ELWAHAT» pour les Recherches et les Etudes comporte Cinq sections:

Section A- Sciences appliquées (elwahatst@gmail.com et elwahatsnv@gmail.com);

Section B- Droit et Sciences Politique (elwahatdroit@gmail.com)

Section C- Sciences Economiques, de Gestion et Commerciales (elwahateconomie@gmail.com);

Section D- Sciences Humaines, Sociales (elwahatsocio@gmail.com; elwahat.univ.ghardaia@gmail.com)

Section E- Lettres et Langues (elwahatlitterature@gmail.com).

Droit d'auteur

Pour publier dans la revue « ELWAHAT » pour les Recherches et les Etudes, les auteurs déclare le transfère des droit d'auteur à l'éditeur une fois l'article est accepté à la publication.

Contact

Toute correspondance est adressée au directeur de la publication :

Revue « ELWAHAT » pour les Recherches et les Etudes- Université de Ghardaïa B.P 455, Noumérat, Route de l'aéroport Ghardaïa 47000-Algérie

Tél. : + 213 (0) 29 87 05 91

Fax: +213 (0) 29 87 05 89

E-mail: elwahatk.abdellah@gmail.com

Site web: <http://elwahat.univ-ghardaia.dz/>

Directeur de la revue : Pr. DADAMOUSSA Belkhier
Directeur de la publication : Dr. KEMASSI Abdellah

Comité éditorial

DADAMOUSSA Belkhier (Algérie)	SEYDOU TOURE Abou Bakr (Niger)
HALILAT Mohammed Tahar (Algérie)	BRANDT Stefanie (France)
GUENDOUZ-BENRIMA Atika (Algérie)	GELY Véronique (France)
OULD EL HADJ Mohamed Didi (Algérie)	HOUDAYER Jean Marie (France)
BISSATI-BOUAFIA Samia (Algérie)	BOUTERDINE Yahia (Algérie)
CHEHMA Abdelmadjid (Algérie)	HADIA Mchikhi (Tunisie)
BADRAOUI Mohamed (Maroc)	TOUBI Mustafa (Maroc)
BENRHAÏM Hafsa (Tunisie)	DARABSAH Mahmoud (Jordanie)
TESSIER Daniel (France)	INIGO-INIGO C. Adolfo (Espagne)
THOMPSON Michael (USA)	RUSAN Mounir (Jordanie)
KELFAOUI Fethi (Algérie)	BAJOU Mustapha (Algérie)
BAHAZ Brahim (Algérie)	ABDALI Mohamed Saïd (Algérie)
DJEBLI Nourreddine (Algérie)	BEN SAÂD Mohammed Saïd (Algérie)
MESSAITFA Ammar (Algérie)	DJAOUADAT Mohammed (Maroc)
HACINI Messaoud (Algérie)	MAJID ESSANI Abdul (Algérie)
SENOUSSI Abdelhakim (Algérie)	ABDUL KHALIQ Issa (Palestine)
SANNON Soulaymane (Burkina-Faso)	DARMAKI Aisha (Oman)
GHANEMI Mouhamed (Tunisie)	HASSAN ZEIDAN Suleiman (Libye)
NATALI Mondy (France)	MOUSSAOUI Ahmed (Algérie)
OUAKID Mohamed Laid (Algérie)	SELLAMI Mokhtar (Algérie)
CHERITI Abdelkarim (Algérie)	MAARAJ Houari (Algérie)
BELBOUKHARI Nacer (Algérie)	KHOUDJA Abdelaziz (Algérie)
YOUCEFI Mohammed (Algérie)	KHENNOUR Saleh (Algérie)
HADJ SEYD Abdelkader (Algérie)	OULED HIMOMUDA Djamaa (Algérie)
HADJ-AISSA Mohamed (Algérie)	BEN CHOUHRA Choul (Algérie)
BADJAH Yacine (Royaume Arabie Saoudite)	OUMENTEN Mustapha (Algérie)
BELLAOUER Slimane (Algérie)	HIBA Seif Eddine (Algérie)
BOUAROUR Kamel (Algérie)	BENSANIA Abderrahmane (Algérie)
MERZOUKI Amjed (Tunisie)	MSITFA Abdelatif (Algérie)
WOLFGONG Kaiser (France)	ELSSAMADI Mustapha (Maroc)
BOUABDELLI Ahlam (Algérie)	GUEZZOU Mouhamed Akli (Algérie)
ADJILA Mohamed (Algérie)	BOUSSALIM Saleh (Algérie)
GOUÏ Bouhania (Algérie)	GUERLIFA Hamid (Algérie)
DEHOU Fodil (Algérie)	KOUTI Messaoud (Algérie)
KIHOUL Bouzid (Algérie)	HADJADJ Omer (Algérie)
HADJ MHAMED Kacem (Algérie)	HAMMOUDA Aicha (Algérie)
KADDI Abdelmadjid (Algérie)	ELMADJARI Abdelkrim (Tunisie)
FARADJ Faradj (Egypte)	CHAIB Saci (Algérie)

Section A : Sciences Appliquées

Rédacteur en chef

Dr. KEMASSI Abdellah

Comité de lecture

Pr. GHANEMI Mohamed (Tunisie)
Pr. OULD EL HADJ-KHELIL Aminata (Algérie)
Pr. CHERITI Abdelkrime (Algérie)
Pr. KADDOURI Kacem (Algérie)
Pr. AZZAZ RAHMANI Salima (Algérie)
Pr. BELBOUKHARI Nacer (Algérie)
Pr. DJEBLI Nouredine (Algérie)
Pr. SEGNI Laagel (Algérie)
Pr. HADJ MHAMED Mahfoud (Algérie)
Dr. KOUIDRI Mohamed (Algérie)
Dr. KHEN Bachir (Algérie)
Dr. ADAMOU Alaa-Eddine (Algérie)
Dr. GUEZZOUL Omar (Algérie)
Dr. BOUALLALA A'Mhamed (Algérie)
Dr. NOURI Nada (Algérie)
Dr. TANKARIDANBADJO Abdurrahman (Niger)
Dr. BOULENOUAR Nouredine (Algérie)
Dr. BOURAS Nouredine (Algérie)
Dr. BOUAL Zakaria (Algérie)
Dr. SEKOUM Khaled (Algérie)
Dr. HADJAISSA Mohamed (Algérie)
Dr. HADJ SEYD Abdelkader (Algérie)

Instructions aux auteurs

Soumission d'un article

Soumission recommandée (électronique) via le courrier électronique de la section de domaine relatif au sujet de manuscrit. Lors de la soumission, il est demandé aux auteurs de proposer une liste d'au moins deux spécialistes susceptibles d'expertiser le travail et d'y joindre leurs adresses électroniques et leurs affiliations.

Il est recommandé ainsi de faire joindre à l'article soumis, une lettre d'accompagnement, où il est mentionné que le travail soumis a été approuvé par tous les auteurs et qu'il n'a pas été soumis à une autre revue.

Préparation de manuscrit

Les articles soumis à la revue « ELWAHAT » pour les Recherches et les Etudes, peuvent être rédigés en anglais, en français ou en arabe et doivent comporter obligatoirement un résumé en français ou en arabe et un autre résumé en anglais. Le résumé doit être suffisamment clair et informatif pour permettre la compréhension du sujet sans lire l'article entier. Le résumé comporte au maximum 200 mots. Cinq à sept mots-clés bien adaptés pour indexer le manuscrit.

- Les manuscrits doivent contenir quatre parties: Introduction, Matériel et méthodes, Résultats et Discussion, et Conclusion (facultatif) (police 12 gras). Les manuscrites ne doivent pas dépasser 15 pages ou 3000 mots (excluant les références, les tableaux et les légendes des figures).

La longueur des textes comportant de nombreuses références ne devrait pas dépasser 40000 signes (espaces compris). Les manuscrits soumis en ligne à la revue, passent par plusieurs étapes successives:

- Vérification de la conformité du manuscrit (lettre d'accompagnement, «anonymisation» du texte, résumés bilingues, etc.);
- Vérification de conformité à la ligne éditoriale de la revue et d'originalité des résultats;
- Evaluation anonyme par au moins deux experts choisis parmi ceux qui sont proposés par les auteurs et par les membres du comité de rédaction.

Le manuscrit doit être écrit en police : New Time Roman et comporte les éléments sous cités qui vont être regroupés dans un seul fichier rendu anonyme et qui se présentent comme suit:

Sur la première page :

- Le titre de manuscrit en français ou en arabe et en anglais (20 mots au maximum ; police 14 gras);
- Les noms, les affiliations, et les références des auteurs ainsi que l'adresse postale et l'adresse électronique du premier auteur et/ou de l'auteur correspondant (police 11 gras) ;

- Un résumé en français ou en arabe et un abstract en anglais de 300 mots maximum chacun (police 12);
- Cinq à sept mots clés, en français ou en arabe et en anglais, extraits du thésaurus (police 12);
- Puis le texte intégral au format MS. Word (fichier .doc(x) ou rtf) avec illustrations. Les tableaux, les photos et les figures (illustrations) seront appelés dans le corps du texte (police 12);
- Une liste de références bibliographiques soigneusement choisies, récentes et accessibles aux lecteurs, selon les normes suivantes:

Références bibliographiques

Les références bibliographiques sont présentées par le nom de l'auteur ou des auteurs (sans prénom (s)) suivi d'une virgule, puis de l'année de publication. Selon leur position dans le texte sont à présenter comme suivant:

- Un seul auteur : texte (auteur, année de publication) texte...
- deux auteurs : texte (auteur1 et auteur2, année de publication) texte...
- plus de deux auteurs : texte (auteur1 *et al.*, année de publication) texte...

ou: Selon auteur (année de publication) texte... ; selon auteur1 et auteur2 (année de publication) texte... ; selon auteur1 *et al.* (année de publication) texte...

Dans le cas de plusieurs citations d'auteurs- année de publication, il est recommandé des séparations par un point-virgule.

(auteur, année de publication ; auteur et auteur, année de publication ; auteur *et al.*, année de publication).

Si un auteur donné ou plusieurs mêmes auteurs ont publié la même année, ajouter les lettres a, b, c, etc. après l'année de publication. Auteur (s), année de publication a, b, c, etc.

Dans la liste bibliographique, les références seront classées dans l'ordre alphabétique des noms des premiers auteurs. Tous les auteurs doivent être mentionnés.

Exemples de structuration

Livre : Bruneton J., 1996.- *Plantes toxiques: Végétaux dangereux pour l'homme et les animaux*. Ed. Lavoisier, Paris, 687 p.

Thèse : Pibiri M. C., 2005.- *Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huiles essentielles*. Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 160 p.

Article : Schoonhoven L. M. et Derksen-Koppers I., 1976.- Effects of some allelochemicals on food uptake and survival of a polyphagous aphid, *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 19 (1): 52-56.

Sommaire

N°	Titre	Page
1	Modélisation Et Simulation D'un Générateur Photovoltaïque Sous Matlab/Simulink Etude Pratique Site Oued Nechou A Ghardaïa	01
	A. Bahri	
2	Antimicrobial And Antioxidant Activities Of Acetone Extract Of Ammodaucus Leucotrichus Coss. & Dur. Seeds Louail Zineb, Kameli Abdelkrim, Chaabane Chaouch Fawzia, Bouras Nouredine, Djemouai Nadjat, Bouti Karima, Mahdid Mohamed, Tigrine Chafia, Lakache Zineb And Tounsi Hassina	20
3	Etude Numérique De La Convection Mixte Transitoire Conjuguée Dans Un Tube Vertical A. Belaid, O. Kholai, S. Boulkron, T. Arrif, A. Gama Et H. Merarda	27
4	Etude Des Paramètres Physico-Chimiques Et De L'activité Antioxydante De Trois Vinaigres De Cidre Traditionnels Issus De Trois Variétés De Pomme De La Région De Midelt Au Maroc Driss Ousaaïd, Ismail Mansouri, Mouad Rochdi, Badiâa Lyoussi Et Ilham El Arabi	37
5	Perfectionnement Des Conditions Du Confort Par L'isolation Et L'amélioration De La Compacité Volumique Du Bâti S. Bendara, S. M. A. Bekkouche Et T. Benouaz	51
6	Contribution A L'étude De La Mésofaune Dans Le Parc National De Chréa Isserhane Warda Et Baha Mounia	66
7	Etude Thermodynamique D'une Installation De Réfrigération Solaire A Absorption Fonctionnant Avec Des Températures Moyennes Mohammed Benramdane, Said Abboudi Et Mea Ghernaout	76
8	Les Oligochètes De Dhaia (Parc National De Chréa) Isserhane Warda Et Baha Mounia	87
9	Analyse Des Techniques Cheminées Solaires Par Différentes Méthodes De Simulations Chergui T., Boualit Abd. H., Lebbi M., Laouar S. Et Bouzahar T.	95
10	Contribution Au Calcul Simplifié De La Correction Orthométrique En Nivellement De Précision Haddad Mahdi	121

11	Modélisation Et Étude De La GAS A Cage Utilisée Dans La Conversion Éolienne	193
	Khaled Ferkous, Amar Bentounsi Et Farouk Chellali	
12	In Vitro Evaluation De L'activité Antimicrobienne Des Différents Extraits De Allium Triquetrum L., Espèce Algérienne Spontanée	152
	Menacer A., Saidi F. Et Benhelal A.	
13	Isolement Et Caractérisation Partielle De Deux Souches d'Amicolatopsis A Activité Antifongique A Partir De Deux Sols Du Nord Algérien	162
	Laassami Affaf, Benmoumou Sarra, Djemouai Nadjette, Berraf-Tebbal Akila, Yekkour Amine, Bouras Noureddine, Sabaou Nasserline Et Meklat Atika	
14	Congélation Solaire Par Procédé Thermochimique A Partir D'une Source Thermique Solaire Basse Température Dans Le Sud Algérien	170
	Nacer Habbir, Hatem Ghodbane, Kamel Bouaraour Et Bachir Borij	
15	Effet De L'intensité De La Turbulence A L'entrée Sur L'écoulement Dans Une Cavité Ventilée	182
	Bouaraour K., Hebbir N. Et Boudebous S.	



Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque sous Matlab/Simulink Etude pratique site Oued Nechou à Ghardaïa

A. Bahri

1- University of Ghardaïa, Faculty of Science and Technology, Ghardaïa, Algeria.

E.mail: bahridoc@yahoo.fr

Résumé-

Ce travail présente une modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque par l'environnement Matlab/Simulink où nous avons préparé un schéma bloc standard en utilisant les symboles mathématiques de base existant dans la bibliothèque du Simulink pour simuler tous les cas possibles de raccordement soit en série, en parallèle ou montage mixte des cellules, modules, panneaux ou champs photovoltaïques pour produire une puissance électrique selon notre besoin.

Grâce à ce bloc de simulation, nous avons fait un travail pratique de comparaison entre des résultats de la centrale photovoltaïque de Oued Nechou à Ghardaïa où nous avons comparé les résultats obtenus par les données pratiques par ceux présentés par le constructeur de cette centrale PV d'un point de vue influence de la température et l'ensoleillement sur les caractéristiques des panneaux PV tel que nous avons trouvé résultats en accord avec ceux affichés par le constructeur de cette centrale PV ainsi que avec les données enregistrées au niveau du site concerné le 24/04/2016.

Mots clés: générateur photovoltaïque, Matlab/Simulink, température, Ensoleillement.

Modeling and simulation of a photovoltaic generator under Matlab / Simulink Practical study site Oued Nechou in Ghardaïa

Abstract –

This work presents a modeling and simulation of a photovoltaic generator by the Matlab / Simulink environment where we have prepared a standard block diagram using the basic mathematical symbols existing in the Simulink library to simulate all possible connection cases either in Series, parallel or mixed assembly of photovoltaic cells, modules, panels or fields to produce an electrical power according to our need. Thanks to this simulation block,

we have done a practical comparison of the results of the photovoltaic plant at Oued Nechou in Ghardaïa where we compared the results obtained by the practical data with those presented by the manufacturer of this PV plant, A point of view influence of the temperature and the sunlight on the characteristics of the PV panels as we found results in agreement with those displayed by the manufacturer of this PV plant as well as with the data recorded at the site level concerned on 24/04/2016.

Key words: Photovoltaic generator, Matlab / Simulink, Temperature, Sunlight

1. INTRODUCTION

Une source d'énergie primaire est une forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Si elle n'est pas utilisable directement, elle doit être transformée en une source d'énergie secondaire pour être utilisable et transformable facilement.

La technologie photovoltaïque est parmi les applications de l'énergie solaire où cette dernière est transformée directement en énergie électrique par le biais d'un élément de base de cette technologie appelée cellule photovoltaïque. L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein des matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou le germanium [1].

Un générateur photovoltaïque est un module photovoltaïque qui fonctionne comme un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques montées entre elles électriquement soit en série ou en parallèles afin d'obtenir des caractéristiques tel que la tension, le courant et la puissance [2].

L'objectif principal de cet article consiste en la modélisation et la simulation mathématique sous forme d'une formule reliant le courant à la tension de sortie et la puissance en fonction de tension du GPV.

L'intensité de l'irradiation solaire sur le territoire algérien indique que l'Algérie possède une forte source de potentiel solaire (figure 1) [3]. Ghardaïa est une ville sèche et aride au sud, caractérisée par un grand ensoleillement (plus de 3000 heures par an) où la moyenne annuelle de

l'irradiation solaire globale mesurée sur le plan horizontal dépasse 20 MJ / m². Ce grand potentiel de l'énergie solaire peut être utilisé pour produire de l'électricité [4].

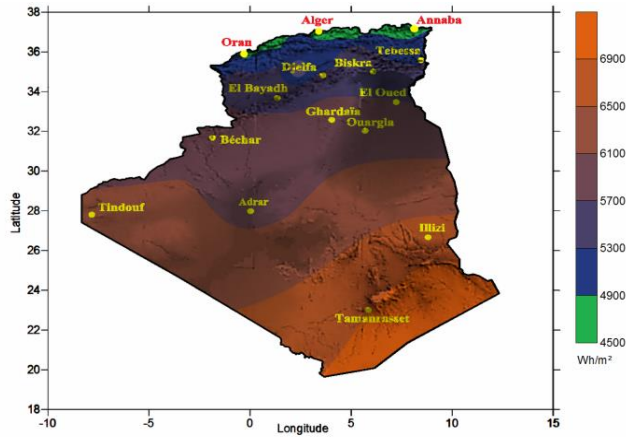


Fig 1. Moyenne annuelle de l'irradiation solaire reçue sur un plan horizontal.

À la fin de notre travail, nous allons faire une partie expérimentale qui consiste à une comparaison entre les résultats extraits à partir des mesures effectuées au niveau du site PV de oued Nechou à Ghardaïa et l'utilisation de notre schéma bloc de simulation préparé à l'aide de l'environnement Matlab/Simulink en utilisant la technologie monocristalline pour le cas des panneaux fixe et panneaux motorisés.

II. FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

La cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopé P (dopé au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charge N) et des trous. Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches [5].

III. MODELISATION DU SYSTEME DE CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

La littérature offre de nombreux modèles avec différentes configurations dépendant du besoin d'utilisation.

La caractéristique $I(V)$ du générateur PV est basée sur celle d'une cellule élémentaire modélisée par le circuit équivalent bien connu de la fig (2). Ce circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle, ainsi que des résistances séries R_s et parallèle (shunt) R_p pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule [6].

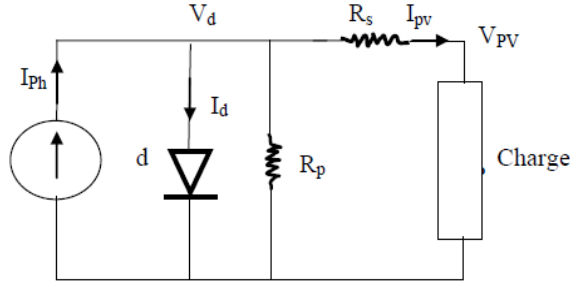


Fig. 2. Schéma équivalent électrique de la cellule PV.

Selon le schéma de la figure (2) on peut écrire :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{(V_{PV} + R_s I_{PV})}{N_s A K T}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + R_s I_{PV}}{R_p} \quad 1$$

Où I_0 est le courant de saturation, K est la constante de Boltzmann ($1,381.10^{-23}$ J/K), T est la température effective des cellules en Kelvin(K), q est la charge de l'électron ($e=1,6 \cdot 10^{-19}$ C), A est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 3$), I_{PV} est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur, V_{PV} est la tension aux bornes de cette même cellule, I_{ph} est le photo courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit), R_p est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction, R_s est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions [6].

Le module PV est constitué par un regroupement, en série et/on parallèle d'un grand nombre de cellules élémentaire. L'association parallèle de N_s cellules en série permet d'augmenter la tension du GPV. Une association parallèle de N_p cellules possible afin d'accroître le courant de GPV.

La relation entre le courant et la tension dans un module PV, constitué de plusieurs cellules connectées en série et en parallèle, est donnée par l'équation suivante.

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V_{pv}}{N_s} + \frac{R_s I_{pv}}{N_p} \right)}{A K T} \right) - 1 \right] - \frac{\frac{N_{pv}}{N_s} V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \quad 2$$

La fig 3 et 4 illustre les caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule en silicium ayant les caractéristiques :

$V_{co} = 0.6 \text{ V}$, $I_{cc} = 2.55 \text{ A}$, $P_m = 1,153 \text{ W}$ on peut trouver deux courbes de la cellule PV dans les conditions standard ($T = 25^\circ \text{C}$, $E = 1000 \text{ W/m}^2$) comme suit:

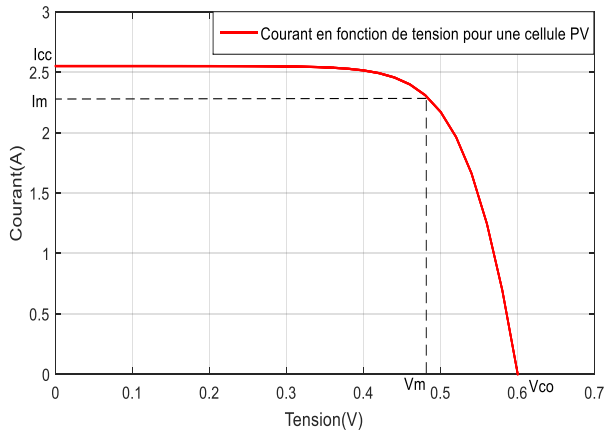


Fig. 3. Caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ d'une cellule PV.

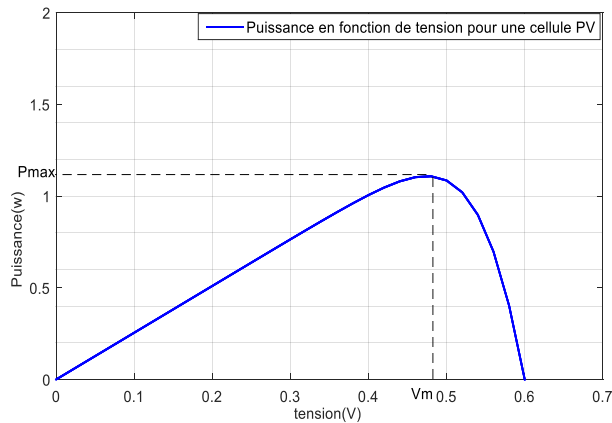


Fig.4. Caractéristique $P(V_{pv})$ d'une cellule PV.

IV. INFLUENCE DES PARAMETRES SUR LES COURBES D'UNE CELLULE PV.

Au cours d'une journée, le niveau d'éclairement et la température d'une cellule vont varier entre 0 W/m^2 et 1000 W/m^2 ainsi que la variation de la température. Il est donc important de connaître l'évolution des caractéristiques courant-tension en fonction du niveau d'éclairement et en fonction de la température. A l'aide de la caractéristique courant -tension d'une cellule PV, sous éclairement et température bien déterminée, il est possible d'évaluer les performances et le comportement électrique de la cellule photovoltaïque.

A. Effet de la température.

Nous avons effectué une simulation où nous avons maintenu un éclairement constant ($E=1000 \text{ W/m}^2$) pour différentes température (25°C , 50°C , 75°C , 100°C). La courbe des caractéristiques va présenter quatre allures différentes selon la température voir les figures (5) et (6).

Les paramètres de la cellule considérés sont : $R_s = 0.01 \Omega$, $R_p = 4 \Omega$, $I_{cc} = 2.55 \text{ A}$, $V_{co} = 0.6 \text{ V}$ et $A = 1.6$.

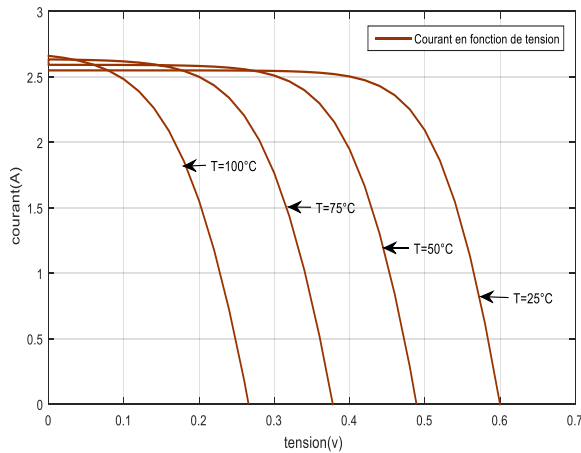


Fig.5. Effet de la température sur la courbe I(V) d'une cellule PV.

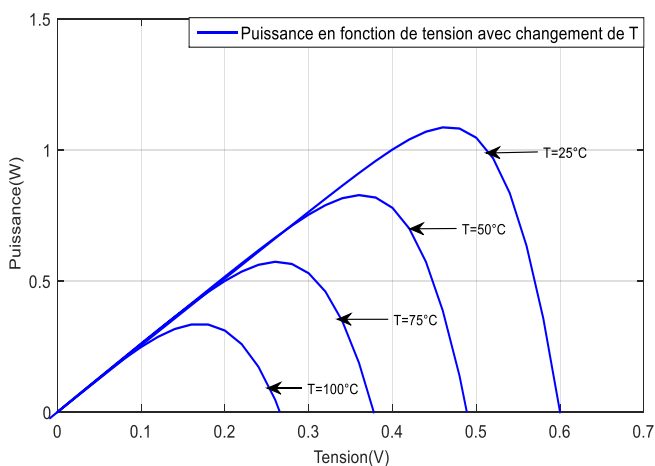


Fig.6. Effet de la température sur la courbe $P(V)$ d'une cellule PV.

B. Effet de l'éclairement.

Selon la figure (7) avec une température constante de 25°C, nous pouvons remarquer que des fortes variations du niveau d'éclairement provoquent des variations relativement importantes de l' I_{cc} , alors que les variations relatives de la tension V_{co} restent faibles

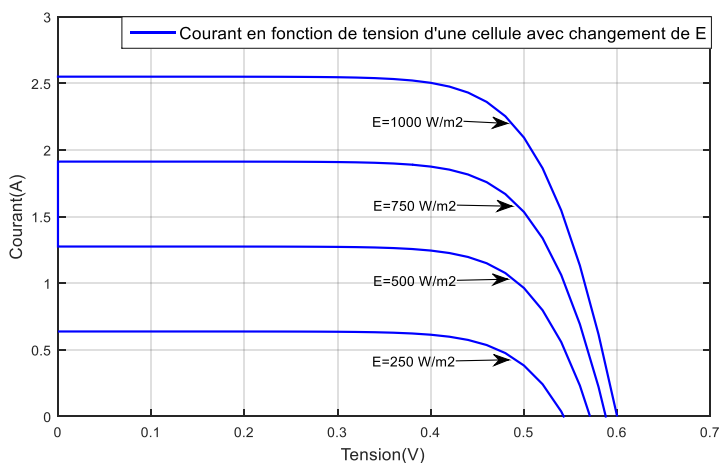


Fig.7. Effet de l'éclairement sur courbe $I_{pv}(V_{pv})$ d'une cellule PV.

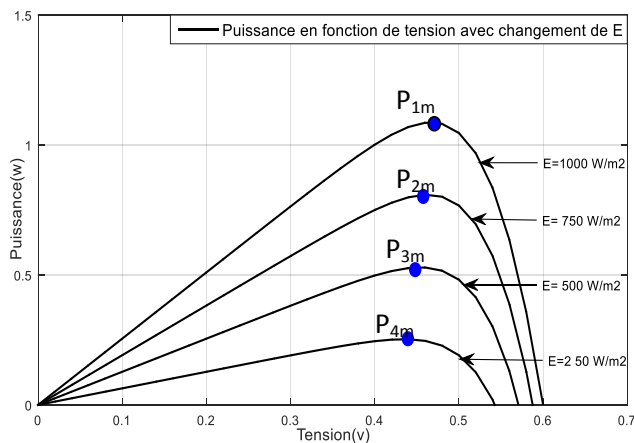


Fig.8. Effet de l'éclairement sur la courbe $P_{pv}(V_{pv})$ d'une cellule PV.

On remarque aussi que l'éclairement a un effet réductif sur la valeur de puissance ainsi que sur le rendement de la cellule. Ceci implique que la puissance optimale de la cellule P_{max} est proportionnelle avec l'éclairement et le point de puissance maximale se situe presque à la même tension.

C. Effet du facteur d'idéalité.

Selon la figure (9) on remarque que la tension de circuit ouvert V_{co} et le courant du court-circuit I_{cc} ne sont pas modifiés avec l'augmentation du facteur d'idéalité, mais la caractéristique se déforme lentement sous l'effet de changement du facteur d'idéalité. L'augmentation du facteur idéalité de la diode influe inversement sur le point de puissance maximale et cela se traduit par une baisse de puissance au niveau de la zone de fonctionnement voir figure (9) et figure (10).

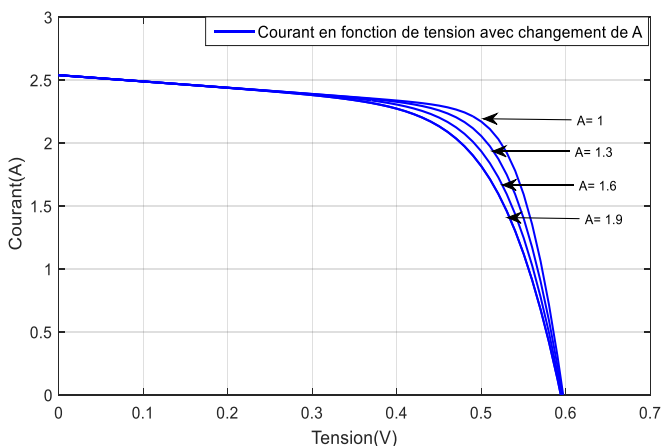


Fig.9. Effet du Facteur d'idéalité sur la courbe $I_{pv}(V_{pv})$ d'une cellule PV.

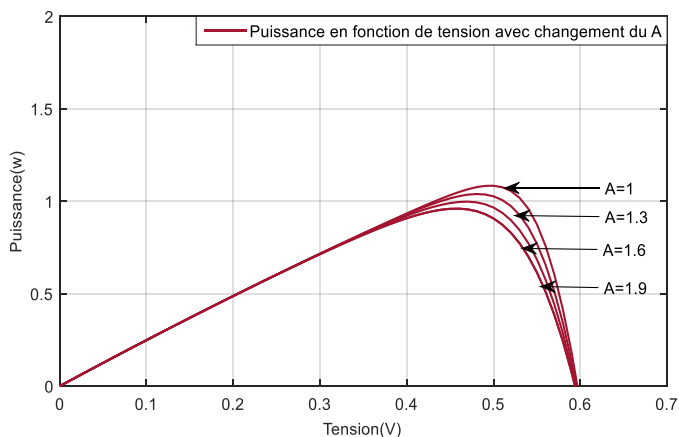


Fig.10 Effet du Facteur d'idéalité sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ d'une cellule

V. SIMULATION ET RESULTATS.

A. Etude théorique.

Pour étudier les caractéristiques d'un panneau solaire composé de N_s cellules en série et N_p cellule en parallèle, nous allons utiliser le schéma bloc standard à l'aide du logiciel Matlab-Simulink comme montré à la figure suivant.

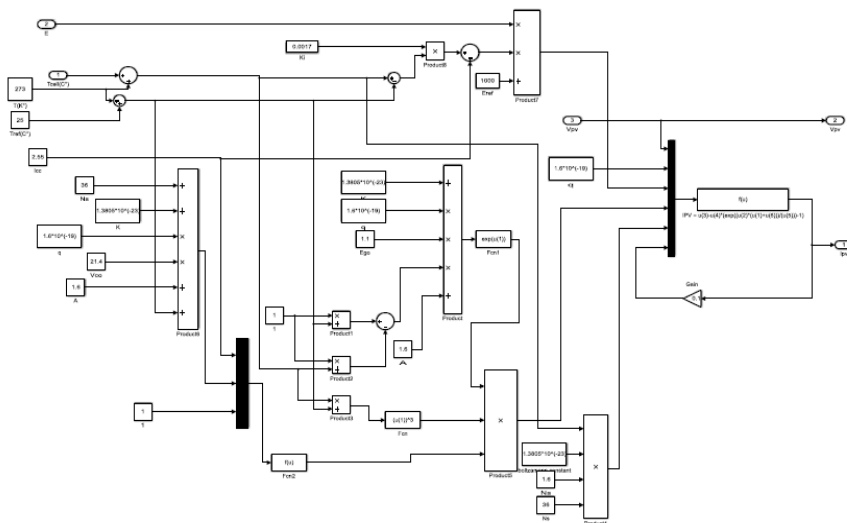


Fig.11 Schéma bloc d'un générateur PV sous Matlab/Simulink.

Dans cette partie nous allons baser sur les caractéristiques électriques d’un module données dans le tableau I [7].

Ces spécification électriques sont mesurés sous les conditions standards : Température $T_{ref} = 25^{\circ}\text{C}$; Eclairement $E_{ref} = 1000\text{W/m}^2$. Pour les paramètres intérieurs nous prenons: Facteur d’idéalité $A = 1.6$, énergie de gap $E_{g0} = 1.1$; Coefficient de température du courant du court-circuit $K_i = 0.0017\text{ A}^{\circ}\text{C}$; Constant de Boltzman $K = 1.3805 \times 10^{-23}\text{ J/K}$; La charge d’électron $q = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$. [7]

TABLEAU II. CARACTERISTIQUES ELECTRIQUE DU MODULE PV [7]

Puissance maximale $P_{\max}$	37.08 W
Tension à $P_{\max}$ V_m	16.56 V
Courant à $P_{\max}$	2.25 A
Tension à circuit ouvert V_{co}	21.24 V
Courant de court-circuit I_{cc}	2.55 A
Nombre de cellule en série N_s	36 ou 18
Nombre de cellule en parallèle	1

Pour réaliser ce module PV, nous utilisons les données électriques du module indiqués dans le tableau III sur notre modèle en schéma bloc et on discute les résultats de l’effet des différents paramètres sur les deux caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ de notre module PV. On prend deux cas $N_s = 18$ cellules associée en série et $N_s = 36$ cellules montée toujours en série avec $N_p = 1$.

1) *Effet de la température.*

Nous varions la température de notre module PV en prenant $N_s = 18$, $N_s = 36$ et $N_p = 1$ tel que $T = 25^{\circ}\text{C}$, $T = 50^{\circ}\text{C}$, $T = 75^{\circ}\text{C}$ et $T = 100^{\circ}\text{C}$ et nous allons voir le comportement de notre module PV sous un éclairement $E = 1000\text{W/m}^2$.

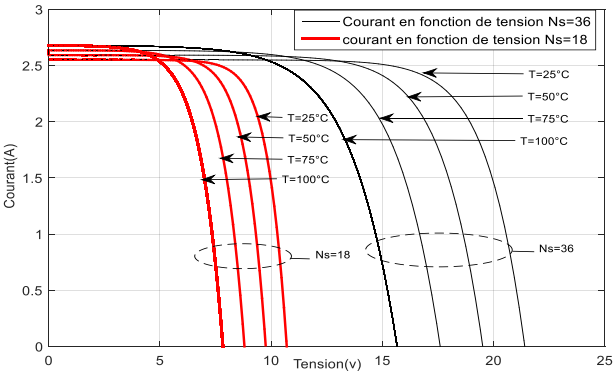


Fig.12 Caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ d’un module $N_s = 36$ et $N_s = 18$ sous différentes T .

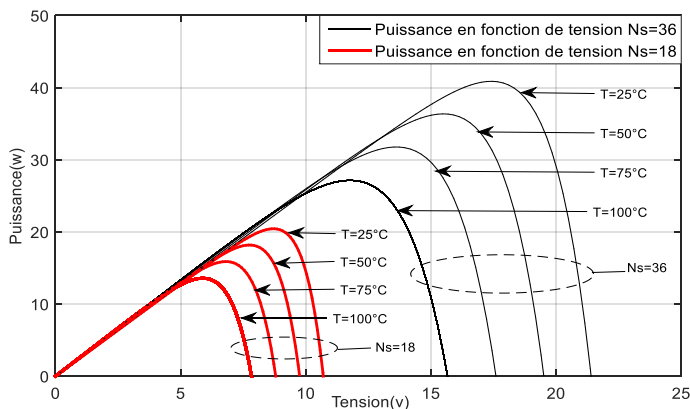


Fig.13. Courbes $P_{pv}(V_{pv})$ d'un module $N_s=36$ et $N_s=18$ sous différentes T .

Selon les figures 12 et 13 nous pouvons dire que la température du module a une forte influence sur la tension à vide et la puissance du module. Plus la température du module augmente, plus la tension à vide V_{co} et la puissance diminue. Par contre, la température du module influence très peu sur le courant de court-circuit I_{cc} .

2) Effet de l'éclairement.

Sous une température de 25°C , on varie l'éclairement E du module PV avec $N_s=18$ et pour $N_s=36$.

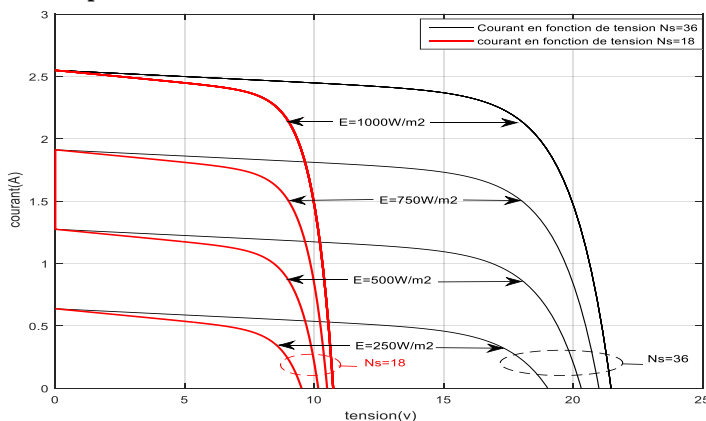


Fig.14. Courbes $I_{pv}(V_{pv})$ d'un module PV sous différent E , $N_s=36$ et $N_s=18$.

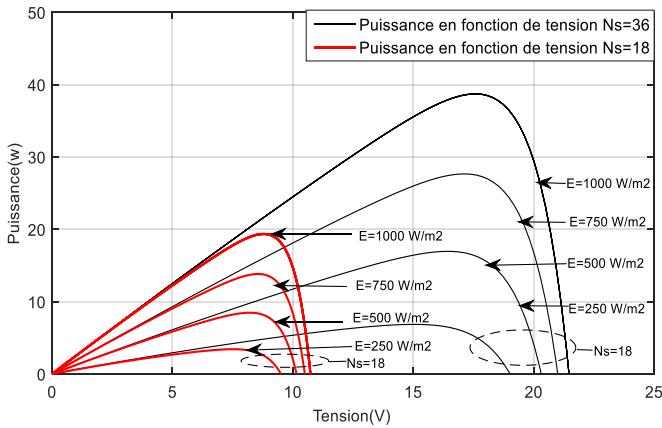


Fig.15. Courbes Ppv(Vpv) d'un module PV sous différents E, $N_s=36$ et $N_s=18$.

D'après les figures 14 et figure 15 nous constatons que la variation en éclairement modifie la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ de du GPV solaire, pas dans sa forme générale mais pour les valeurs I_{cc} , V_{co} , I_m , V_m ainsi que la puissance délivrée par ce module PV.

Aussi nous pouvons remarquer que l'éclairement influence sur la puissance maximale ainsi que le rendement du module. Donc on peut dire que la luminosité influence considérablement les performances des cellules ou des modules PV.

3) Effet de la résistance série R_s du GPV

La résistance série dépend de, la résistivité du matériau, des résistances de contact des électrodes et, de la résistance de la grille collectrice [8].

Sous un éclairement et température sont constant dans les conditions standards, $E=1000\text{W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$, nous varions la valeur de la résistance interne R_s . Dans ce cas nous prenons les valeurs de R_s pour $N_s= 18$ et $N_s=36$: $R_s=0\ \Omega$, $0.75\ \Omega$, $1.5\ \Omega$ et $2.5\ \Omega$.

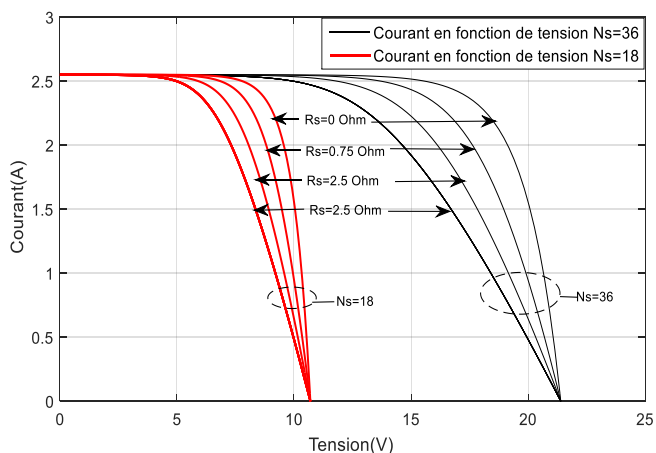


Fig.16. Influence de R_s sur la courbes $I_{pv}(V_{pv})$ d'un module avec $N_s=36$ et $N_s=18$.

Dans la figure 16, nous remarquons que la tension de circuit ouvert (V_{co}) et le courant du court-circuit (I_{cc}) ne sont pas modifiés, mais la caractéristique se déforme très rapidement sous l'effet de R_s . Cette influence se traduit par une diminution de la pente de la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et va provoquer une diminution du point maximale de puissance P_{max} comme il est montré sur la figure 17.

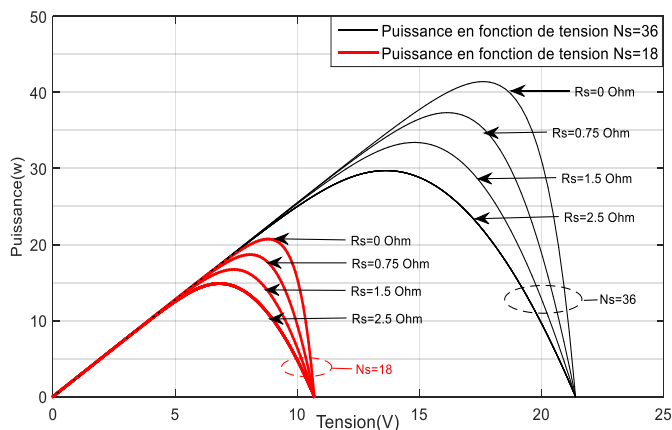


Fig.17. Influence de R_s sur la courbes $P_{pv}(V_{pv})$ d'un module avec $N_s=36$ et $N_s=18$.

B. Essais expérimentaux.

Dans cette partie, nous présenterons les résultats expérimentaux obtenus durant un travail pratique qu'on a effectué au niveau du site PV de SKTM à Oued Nechou à Ghardaia.

Ce travail consiste à extraire les courbes $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ des modules PV fabriqués en technologie monocristalline, l'un est fixe et l'autre est motorisé qui sont installés au niveau du site. Pour cette raison on a utilisé les paramètres internes des modules donnés par le constructeur (R_s , R_p , A , K_i , I_{cc} et V_{co}) et les paramètres météorologique réels (éclairage et température) enregistrés le jour du 24/04/2016.

1) Vision sur la centrale de Oued Nechou à Ghardaia. [10], [11].

La centrale PV de Oued Nechou représente un champ photovoltaïque comporte 4 sous champs chacun contient une technologie tel que, la monocristalline, la polycristalline, l'amorphe et la couche mince (CdTe).

Ce champ, est constitué de 4 sous champs ayant une puissance de 1100 KWc répartie comme suit :

452 kWc: Panneaux en silicium monocristallin (un sous champ fixe et l'autre mobile).

452 kWc: Panneaux en silicium polycristallin (un sous champ fixe et l'autre mobile).

100 kWc: Panneaux fixes en silicium amorphe (a-Si).

100 kWc: Panneaux fixes en couches minces (tellure de cadmium CdTe).

2) Spécifications des modules PV par technologie installés au site PV. [11]-[12]

Afin de maximiser la production de l'énergie électrique du système PV, les modules sont orientés d'une façon optimale afin de capter un maximum du rayonnement solaire avec une orientation plein sud et inclinaison optimale de 30° par rapport à l'horizontale.

Les caractéristiques interne et électrique des deux modules sont extraites à partir les fiches techniques des panneaux PV données par le constructeur de la centrale PV comme le suivant :

Module monocristallin: Model Atersa, A-250M. C.S.T:

$T = 25^{\circ}\text{C}$, $E = 1000 \text{ w/m}^2 \text{ AM1.5}$.

Le tableau IVV représente les spécifications techniques internes du module étudié selon la technologie utilisée (Monocristalline). Ces valeurs sont données par le constructeur d'une part.

TABLEAU VI VII. SPECIFICATIONS DU MODULE PV UTILISES DONNEES PAR LE CONSTRUCTEUR [12].

Technologie	Valeurs							
	R_s (Ω)	R_p (Ω)	N_s	N_p	A	T_{ref} $^{\circ}K$	E_{ref} W/m^2	K_i $A/^{\circ}C$
Monocristalline	0.16	300	60	1	1.3	298	1000	0.0026

D'autre part on peut obtenir les valeurs enregistrées au niveau du site PV de Oued Nechou à Ghardaïa le 24/04/2016 en prenant les valeurs de l'éclairement E , la température T , V_m , I_m , P_{max} pour chaque une demi-heure pour des panneaux monocristallin fixe et motorisé et on extrait les courbes obtenues pour voir le comportement des GPV et pour comparer les résultats réels par ceux simulés par notre modèle de simulation sous Matlab/Simulink.

3) Présentation des résultats expérimentaux et commentaires.

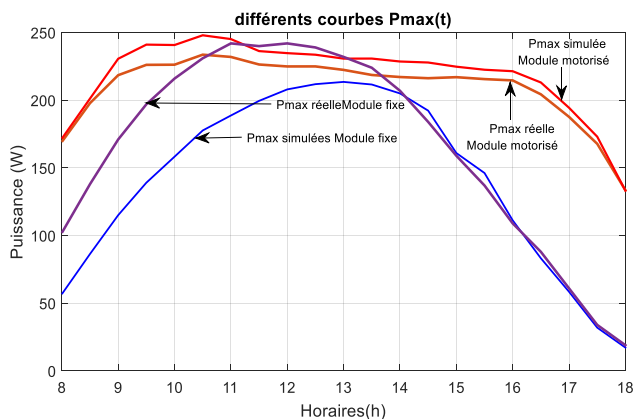


Fig. 20. Courbes de puissance maximale expérimentale et simulées.

On remarque selon la figure 20 que :

- L'énergie électrique délivrée par un module fixe est pratiquement faible par rapport que celle d'un module motorisé.

- Dans le cas du module PV fixe notre courbe est loin de courbe réel le matin et le soir, mais les valeurs elles se rapprochent lorsqu' on tend vers midi voir figure 20.

Cette divergence, explique la nécessité d'orienter des panneaux vers le soleil le long du jour pour avoir une puissance maximal pour chaque instant de la journée.

- Dans le cas du même module PV mais cette fois ci il est motorisé, on remarque que les résultats réels et les résultats obtenus par simulation sont en accord, ont le même comportement et sont plus proche durant le jour de l'essai.

Donc, on peut conclure que pour améliorer l'énergie du module PV, on doit utiliser le système de motorisation des panneaux PV.

Les deux courbes ci-dessous donnent la variation du I_m et E pendant la journée de l'essai.

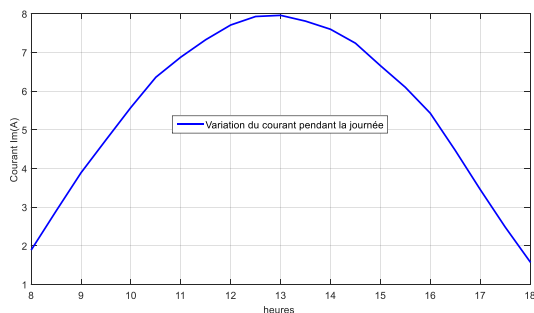


Fig.21. Variation de I_m pendant la journée du test.

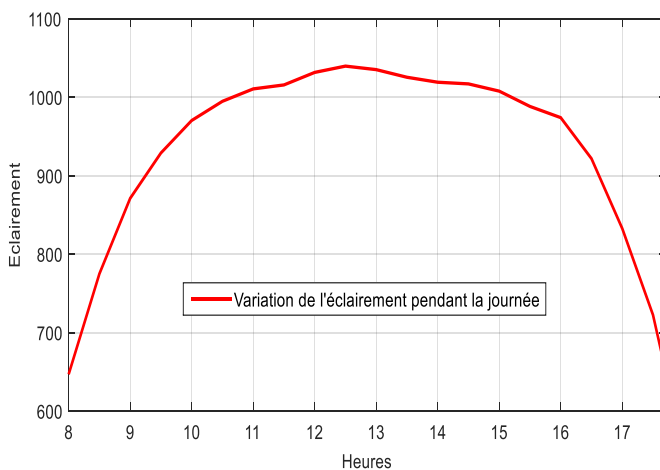


Fig. 22. Variation de E pendant la journée du test.

Selon les deux figures 21 et 22 on remarque que le courant I_m a le même comportement que l'éclairement et le courant suit l'éclairement pendant la journée de test.

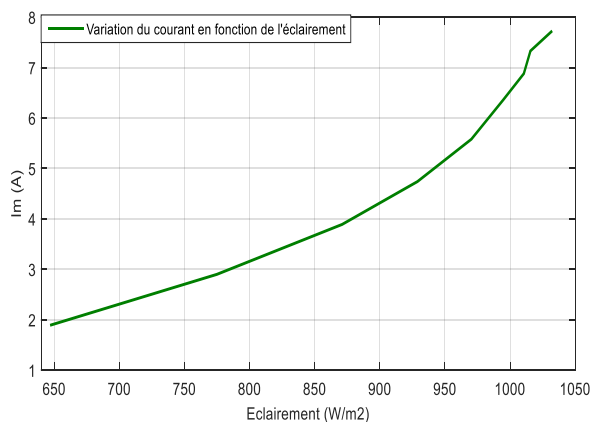


Fig. 23. Variation du courant I_m en fonction de l'éclairement E .

La figure 23 montre que l'augmentation de l'ensoleillement provoque une augmentation du courant I_m correspondant à la puissance maximale.

Donc selon les deux courbes (22) et (23), on peut dire que l'éclairement a une influence directe sur le courant ainsi que la puissance d'un module PV.

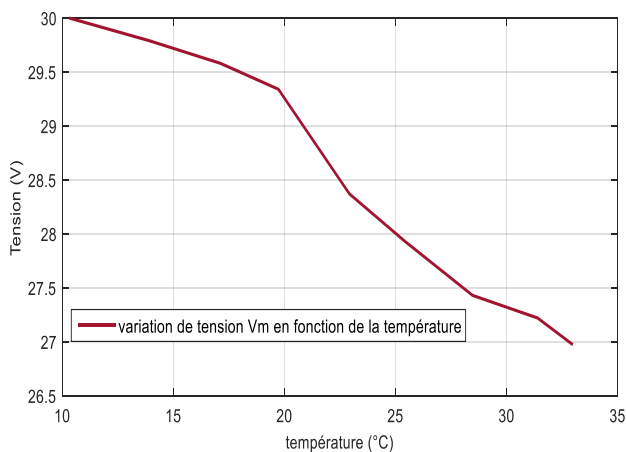


Fig. 24. Variation de tension V_m en fonction de température T .

On constate d'après la figure 24 que la tension V_m va diminuer lorsque la température augmente.

Donc on peut dire que l'augmentation de la température a un effet réductif sur le rendement du GPV.

VI. CONCLUSIONS

Cet article présente les différents modèles de simulation d'une cellule photovoltaïque, un module solaire et un champ photovoltaïque.

Notre étude a été concentrée sur un modèle d'une diode pour simuler le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, un panneau, un module et un champ photovoltaïque soumis aux différentes conditions d'ensoleillement et de température.

Les performances d'un module PV ou cellule PV sont fortement influencées par les conditions climatiques, essentiellement l'éclairement solaire et la température.

D'après les résultats que nous avons obtenus, nous observons que l'augmentation de résistance série et le facteur de qualité se traduit par la déformation des courbes $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ tandis que

Les deux valeurs V_{co} et I_{cc} caractérisant la cellule ou le module restent constants.

Aussi d'après les résultats précédents et en comparant avec les résultats d'une cellule, on peut dire que :

- La valeur du courant (tension) est liée au nombre des cellules ou modules (montés en série ou en parallèle) selon le besoin et le domaine d'utilisation.

- La variation de (T , E , R_s , R_p et A) pour un panneau PV entraîne un comportement similaire à celle d'une cellule PV.

- On peut remarquer que l'augmentation de nombre de cellules (en parallèle ou en série entraîne une amélioration considérable des performances du panneau.

Avant de terminer cet article et pour démontrer la fiabilité de notre travail de simulation, on a fait une partie expérimentale ou on a fait des mesures au niveau du site photovoltaïque qui se trouve à Oued Nechou à Ghardaïa tel qu'on a ramené les mesures des différents valeurs d'un module PV (I_m , V_m , P_{max} , E et T) ayant la technologie monocristalline fixe, et un autre motorisé pour la journée du 24/04/2016. Après comparaison des résultats, on a trouvé une concordance des résultats expérimentaux et ceux de notre simulation.

REFERENCES

- [1] Hallali Kamilia, Etude Comparative D'une Cellule Photovoltaïque, Mémoire Magistère, Université Mouloud Maamri Tizi Ouzou, 2012, Algérie.

- [2] Alain Belbao Learetta, Réalisation De commande MPPT Numérique, Rapport de Stage Projet Fin d'Etude au niveau de CNRS, Septembre 2006, France.
- [3] M.R. Yaiche, A. Bouhanik, S.M.A. Bekkouche, A. Malek and T. Benouaz, Revised solar maps of Algeria based on sunshine duration, *Energy Conversion and Management*, vol. 82, pp. 114–123, 2014.
- [4] K. Gairaa and S. Benkaciali, Analysis of solar radiation measurements at Ghardaïa area, south Algeria, *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 122–129, 2011.
- [5] Mornay Thomas, Vernay Alexis, Volle Marion, les cellule photovoltaïque, Article, Classes préparatoires CPE, Institution des Chartreux, Lyon, 2005, France.
- [6] A. Ould Mohamed Yahya¹, A. Ould Mahmoud et I. Youm, Etude Et Modélisation D'un Generateur Photovoltaïque, Article, *Revue Des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°3 (2008) 473 – 483, Université de Nouakchott, Mauritanie, Septembre 2011, Mauritanie.
- [7] Pandiarajan Natarajan, Performance Improvement Of PV Module At Higher Temperature Operation, Article, *IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ)*, ISSN: 2250-3498, Vol 2, N° 5, Octobre 2012.
- [8] Ren21, Renewables 2014 Global Status Report- page 49, Rapport, 2014, Paris France.
- [9] Pandiarajan Natarajan, Performance Improvement Of PV Module At Higher Temperature Operation, Article, *IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ)*, ISSN: 2250-3498, Vol 2, N° 5, Octobre 2012.
- [10] Groupement ABB Spa Italie-ABB Algérie, Rapport, Centrale En panneaux Photovoltaïques De Ghardaïa 1100 kWc, 2012, Algérie.
- [11] CHAMKHA Tahar, Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque, Mémoire master Académique, Université Ghardaïa, 2016, Algérie.
- [12] CDER, Rapport de la commission nationale de développement des énergies renouvelable en Algérie horizon 2030, 2015, Algérie.



Antimicrobial and antioxidant activities of acetone extract of *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur. seeds

Louail Zineb¹, Kameli Abdelkrim¹, Chaabane Chaouch Fawzia², Bouras Nouredine^{2,3}, Djemouai Nadjat^{2,4}, Bouti Karima², Mahdid Mohamed¹, Tigrine Chafia¹, lakache Zineb¹ and Tounsi Hassina¹

1- Laboratoire d'Ecophysiologie Végétale, Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algérie.

2- Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM), Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algeria.

3- Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaïa, BP 455, Ghardaïa 47000, Algérie.

4- Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene Bab Ezzouar (USTHB), Algérie.

E.mail: louail.zineb@gmail.com

Abstract-

The present study reports the antimicrobial and antioxidant activities of acetone extract of *Ammodaucus leucotrichus* seeds collected from Béchar provinve (Algeria).

The antioxidant activity was evaluated by 2, 2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) scavenging compared to the synthetic antioxidant (ascorbic acid). The acetone extract showed excellent scavenging activity with an IC₅₀ value of 0.28 mg/mL. The antimicrobial activity was determined using disc diffusion method. The acetone extract at a dose of 2 mg/disc, showed significant antibacterial activity against two bacterial strains (*Bacillus subtilis* and *Escherichia coli*) and two yeast species (*Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae*).

Key words: *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur., Acetone extract, Antimicrobial activity, Antioxidant activity.

Résumé

La présente étude indique les activités antimicrobiennes et antioxydantes de l'extrait acétonique des graines d'*Ammodaucus leucotrichus* collectés de la zone de Béchar (Algérie).

L'activité antioxydante a été évaluée par 2, 2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) comparé à l'acide ascorbique (antioxydant synthétique).

L'extrait acétonique a montré une excellente activité antioxydante avec une valeur de 0,28 mg/mL de l'IC₅₀. L'activité antimicrobienne a été déterminée en utilisant la méthode de diffusion de disque. L'extrait acétonique à une dose de 2 mg/disc a montré une activité antibactérienne significative contre les deux souches bactériennes (*Bacillus subtilis* et *Escherichia coli*) et les deux espèces de levure (*Candida albicans* et *Saccharomyces cerevisiae*).

Mots-clés : *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur, Extrait acétonique, Activité antimicrobienne, Activité antioxydante.

1.- Introduction

Ammodaucus leucotrichus Coss. & Dur. (*Apiaceae*) is a plant that plays an important role in traditional medicine in North African countries, especially in the Algerian Sahara (Boulos, 1983). The seeds of this plant are used to treat diseases related to the digestive system, to ease stomach-ache, for vomiting and pain (Hammiche and Maiza, 2006). In addition, leaves of this plant are used to aromatize tea and the powder of this plant is an appreciated spice in the Djanet area (Benchelah et al., 2000).

A number of studies on various plants reported that some plant extracts have antioxidant activity and benefits the human health in playing an important role neutralizing free radicals, which can cause several disorders of the immune system and gene expression (Halliwell, 1995; Pourmorad et al., 2006; Safaei-Ghomi et al., 2009; Sharma and Bhat, 2009). For these reasons, plant extracts can be used to protect organisms and cells from damage induced by oxidative stress, the latter being considered a cause of ageing, degenerative diseases and cancer (Adiguzel et al., 2009). Moreover, some plant extracts show antimicrobial activity against a wide range of microorganisms including fungi and antibiotic resistant bacteria. They can affect both Gram-positive and Gram-negative bacteria in addition to yeasts and filamentous fungi (Nantitanon et al., 2007).

This work is the first report on the antimicrobial and antioxidant properties of the acetone extract obtained from *Ammodaucus leucotrichus* seeds.

2.- Materials and methods

2.1.- Seed collection and preparation

Ammodaucus leucotrichus seeds were collected from Béchar district located at the South west of Algeria (31.6166°N, -2.21669°W).

2.2.- Preparation of acetone extract

The seeds of the studied plant (100 g) were submitted to hydrodistillation for 3h using a Clevenger type-apparatus. After the isolation of the essential oil, the powdered materials were dried at 45 °C for 24 h. Then, 20 g of the dried materials were loaded to a Soxhlet apparatus and extraction was carried out with acetone (400 mL) at 90 °C for 3h. The remaining acetone was evaporated by placing the samples in a vacuum drier under reduced pressure. The viscous extracts were stored in a refrigerator at 4 °C until use (Singh et al., 2007).

2.3.- Antioxidant activity using DPPH radical scavenging assay

The antioxidant activity of the acetone extract was measured in terms of hydrogen donating or radical scavenging ability, using the stable radical 2, 2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Politeo et al., 2006). One milliliter of various concentrations of the extract (0.02 to 0.5 mg/ mL) in ethanol was added to 1 mL of a 0.004 % ethanol solution of DPPH. The mixture was strongly shaken and left to stand at room temperature for 30 min in the dark. The absorbance was measured at 517 nm against a blank (Brand et al., 1995). The radical-scavenging activity was expressed as percentage of inhibition (I %) according to the following formula:

$$I (\%) = (A \text{ control} - A \text{ sample}) / A \text{ control} \times 100$$

where A control is the absorbance of the DPPH solution without extract, and A sample is the absorbance of sample with DPPH solution. The concentration providing 50% inhibition (IC₅₀) was reported as the amount of antioxidant required to decrease the initial DPPH concentration by 50%.

2.4.- Antimicrobial activity

2.4.1.- Tested microorganisms

The acetone extracts were individually tested on different microorganisms, including Gram-positive bacteria; *Bacillus subtilis* and Gram-negative bacteria; *Escherichia coli* and on two yeast species *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae*.

All the used microorganisms were provided by the “Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM), Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algeria”.

2.4.2.- Disk-diffusion assay

The disk diffusion method was used for the determination of the antimicrobial activity. Target microorganisms were cultured on Muller Hinton agar medium. The inocula were suspended in sterile saline water and

diluted according to 0.5 Mc Farland standard and then spread on solid media plates. Sterile filter paper disks (5.5 mm in diameter) were impregnated with 10 μL of extract and placed in the center of the inoculated Petri dishes then remained 2 h at 4°C. The cultures were incubated at 37 °C for 24 h. Each experiment was carried out in three repetitions.

The antimicrobial activities were evaluated by measuring the inhibition zone diameters (millimeter) surrounding each disk (Ozcan et al., 2010).

2.5.- Statistical analysis

The data were presented as mean $\pm$ standard deviation of three replicates. Statistical analyses were performed using a one-way analysis of variance. Statistical significance was declared at $P < 0.05$.

3.- Results and Discussion

3.1.- Antioxidant activity

The DPPH test is the oldest indirect method for determining the antioxidant activity of various samples. DPPH is a stable nitrogen-centered free radical, the color of which changes from purple to yellow upon reduction by either the process of hydrogen or electron donation. Substances which are able to perform this reaction can be considered as antioxidants and therefore radical scavengers (Brand et al., 1995). Antioxidant activities of all samples and standard ascorbic acid are presented in Table 1 in which lower IC_{50} values indicates higher antioxidant activity. The IC_{50} value of the ascorbic acid was 0.45 mg/mL, whereas IC_{50} value of acetone extract of seed was lower at 0.28 mg/mL. This is the first study showing that the antioxidant capacity of the acetone extract of seeds of *A. leucotrichus* is higher than the synthetic antioxidant agent.

Table 1. Antioxidant capacities of the acetone extract of *A. leucotrichus* seeds

Extract and control	DPPH ^a (mg mL ⁻¹)
Acetone extract of seed oil	0.28 $\pm$ 0.21
Ascorbic acid	0.45 $\pm$ 0.11

^a IC_{50} values of DPPH assay

The results of this work indicate that extracts obtained from *A. leucotrichus* seeds showed capacity to donate hydrogen; therefore they present scavenging activity of DPPH. This activity might be due to the presence of

hydroxyl groups existing in the chemical compounds detected in the samples, which could react with free radicals to stabilize and terminate radical chain reactions (Das and Pereira, 1990; Shimoi et al., 1996; Matkowski, 2008).

3.2.- Antimicrobial activity

Antimicrobial activity of the acetone extract obtained from *A. leucotrichus* seeds are shown in Table 2.

Table 2. Antimicrobial activities of acetone extract using a disc diffusion method

Microorganisms	Inhibition zone/mm (acetone extract)
<i>Bacillus subtilis</i> (Gram positive bacteria)	8.50 ± 0.1
<i>Escherichia coli</i> (Gram negative bacteria)	7.50 ± 0.14
<i>Candida albicans</i>	9.54 ± 0.47
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	7.17 ± 0.65

The acetone extract at a dose of 2 mg/disc showed significant antibacterial activity against Gram negative and Gram positive bacteria, and also against the yeasts *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae*.

This antimicrobial activity could be related to the structural configuration of the constituent components and their functional groups and possible synergistic interactions between them (Dorman and Deans, 2000). The chemical structures of molecules in the acetone extract could play an important role in the antimicrobial activity by disturbing the cell structures making them more permeable, which will lead to cell death (Farag et al., 1989; Daw et al., 1994). Some reports showed that the Gram-negative bacteria are more sensitive to extracts than Gram-positive bacteria due to their outer membrane barriers; the Gram-positive bacteria have only an outer peptidoglycan layer which is not an effective permeability barrier while Gram-negative bacteria have an outer phospholipids membrane (Burt, 2004; Arias et al., 2004).

4.- Conclusion

The results of this work are the first report giving the antimicrobial and antioxidant properties of the acetone extract obtained from *A. leucotrichus* seeds. The acetone extract of seed seemed to have more effective antioxidant properties equivalent to or higher than those of synthetic antioxidants and possessed effective antimicrobial activity against tested microorganisms.

On the basis of the results of this work, *A. leucotrichus* seeds can be used as easily accessible source of natural antioxidants and as a possible food supplement or in pharmaceutical applications.

5. References

ADIGUZEL A., OZER H., SOKMEN M., GULLUCE M., SOKMEN A., KILIC H., SAHIN F. et BARIS O., 2009.- Antimicrobial and antioxidant activity of the essential oil and methanol extract of *Nepeta cataria*. Polish Journal of Microbiology, vol. 58 (1): 69-76.

ARIAS M.E., GOMEZ J.D., CUDMANI N.M., VATTUONE M.A. et ISLA M.I., 2004.- Antibacterial activity of ethanolic and aqueous extracts of *Acacia aroma* Gill. ex Hook et Arn. Life Sciences, vol. 75 (2): 191-202.

Bencheloh A.C., Bouziane H., Maka M. et Ouahes C., 2000.- Fleurs du Sahara : Voyage ethnobotanique avec les Touaregs du Tassili. Ed. Ibis Press, Paris, 255 p.

Boulos L., 1983.- Medicinal Plants of North Africa, Publication Algonac, Michigan, 286 p.

BRAND W., CUVELIER M. et BERSET C., 1995.- Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Food Science Technology, vol. 28 (1): 25-30.

BURT S., 2004.- Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods--a review. Journal of Food Microbiology, vol. 94 (3): 223-253.

DAS N.P. et PEREIRA T.A., 1990.- Effects of flavonoids on thermal autoxidation of palm oil: Structure-activity relationships. Journal of the American Oil Chemists' Society, vol. 67 (4): 255-258.

DAW Z.Y., EL-BAROTY G.S. et MAHMOUD A.E., 1994.- Inhibition of *Aspergillus parasiticus* growth and aflatoxin production by some essential oils. Chemie, Mikrobiologie, Technologie der Lebensmittel, vol. 16 (5/6): 129-135.

DORMAN H.J.D. et DEANS S.G., 2000.- Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. Journal of Applied Microbiology, vol. 88 (2): 308-316.

FARAG R.S., DAW Z.Y. et ABO-RAYA S.H., 1989.- Influence of some spice essential oils on *Aspergillus parasiticus* growth and production of aflatoxins in a synthetic medium. Journal of food Science, vol. 54 (1): 74-76.

HALLIWELL B., 1995.- Antioxidant characterization. Methodology and mechanism, Biochemical Pharmacology, vol. 49 (10): 1341-1348.

HAMMICHE V. et MAIZA K., 2006.- Traditional medicine in Central Sahara: Pharmacopoeia of Tassili N'ajjer. Journal of Ethnopharmacology, vol. 105 (3): 358-367.

MATKOWSKI A., 2008.- Plant in vitro culture for the production of antioxidants--a review. *Biotechnology Advances*, vol. 26 (6):548-560.

NANTITANON W., CHOWWANAPHOONPHON S. et OKONOGI S., 2007.- Antioxydant and antimicrobial activities of *Hyptis suaveolens* essential oil. *Scientia Pharmaceutica*, vol. 75: 35-46.

OZCAN B., ESEN M., SANGUN M.K., COLERI A. et CALISKAN M., 2010.- Effective antibacterial and antioxidant properties of methanolic extract of *Laurus nobilis* seed oil. *Journal of Environmental Biology*, vol. 31 (5): 637-641.

POLITEO O., JUKIĆ M., et MILOŠ M., 2006.- Chemical composition and antioxidant activity of essential oils of twelve spice plants. *Croatica Chemica Acta*, vol. 79 (4): 545–552.

POURMORAD F., HOSSEINIMEHR S.J. et SHAHABIMAJD N., 2006.- Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, vol. 5 (11): 1142-1145.

SAFAEI-GHOMI J., EBRAHIMABADI A.H., DJAFARI-BIDGOLI Z. et BATOOLI H., 2009.- GC/MS analysis and in vitro antioxidant activity of essential oil and methanol extracts of *Thymus caramanicus* Jalas and its main constituent carvacrol. *Food Chemistry*, vol. 115: 1524–1528.

SHARMA O.P. et BHAT T.K., 2009.- DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*, vol. 113 (4): 1202–1205.

SHIMOI K., MASUDA S., SHEN B., FURUGORI B. et KINAE N., 1996.- Radioprotective effects of antioxidative plant flavonoids in mice. *Mutation Research*, vol. 350 (1): 153-61.

SINGH G., MAURYA S., MARIMUTHU P., MURALI H.S. et BAWA A.S., 2007.- Antioxidant and antibacterial investigations on essential oils and acetone extracts of some spices. *Natural Product Radiance*, vol. 6 (2):114-121.



Etude numérique de la convection mixte transitoire conjuguée dans un tube vertical

A. Belaid^{1,2*}, O. Kholai³, S. Boulkron², T. Arrif¹, A. Gama¹ et H. Merarda¹

1- Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie.

2- Département de Génie Mécanique Université des Frères Mentouri, Constantine 1, Algérie.

3- Laboratory of transport engineering and environment, Institute of Mechanic, Constantine University, Road of Ain ElBey, Constantine 25001, Algérie.

E.mail: b_fetouh@yahoo.fr

Résumé-

Dans cet article on va étudier la convection mixte conjuguée en régime laminaire transitoire dans un tube vertical, chauffé par des températures uniformes sur la surface extérieure de la zone centrale de la paroi du canal qui est située entre deux sections adiabatiques, et dans ce cas le fluide traverse le tube du haut vers le bas. Les équations gouvernantes de ce problème sont l'équation de conservation de la masse, les équations de Navier Stokes et l'équation de conservation d'énergie. La méthode des volumes finis a été utilisée pour la discrétisation des équations gouvernantes et l'algorithme SIMPLE pour traitement couplage pression vitesse. Les simulations numériques, par conséquent, sont effectuées pour différentes valeurs de Gr, et l'objectif de notre travail est l'étude de l'effet du nombre de Prandtl ($0,01 < Pr < 7,1$), et l'effet du nombre de Reynolds Re ($5 < Re < 500$), sur la nature du régime d'écoulement du fluide, et le transfert de chaleur dans un tube, tout en sachant que la température et les champs d'écoulement dans le tube sont calculés et présentés pour illustrer la forte influence du nombre de Prandtl Pr, % ainsi que les numéros de Nusselt locaux et moyens qui sont également signalés pour différentes valeurs de Gr, Re et Pr.

Mots clés: Flux convectif instable, Transitoire; conjuguée, Convection mixte laminaire, Canal vertical.

Numerical study of conjugated transient mixed convection in vertical tube

Abstract-

In this paper, we study the conjugate mixed convection in transient laminar regime in a vertical tube heated by uniform temperatures on the outer surface of the central zone of the channel wall Which is located between two adiabatic sections, and in this case the fluid passes through the tube from top

to bottom. The governing equations of this problem are the mass conservation equation, the Navier Stokes equations and the energy conservation equation. The finite volume method has been used for the discretization of the governing equations and the SIMPLE algorithm for processing pressure coupling. The Numerical simulations are therefore carried out for different Gr values, and the objective of our work is to study the effect of the Prandtl number ($0.01 < Pr < 7.1$), and the effect Of the Reynolds number Re ($5 < Re < 500$), on the nature of the flow regime of the fluid, and the heat transfer in a tube, while knowing that the temperature and the flow fields in the tube are calculated And presented to illustrate the strong influence of the Prandtl Pr number, as well as the local and average Nusselt numbers which are also reported for different Gr, Re and Pr values.

Key words: Unsteady convective flows, Transient, conjugated, Laminar mixed convection, Vertical channel.

I. INTRODUCTION

La convection mixte dans un tube chauffé a reçu l'attention des chercheurs en raison de son application dans de nombreuses zones industrielles telles que les réacteurs nucléaires, le refroidissement des équipements électroniques et des échangeurs de chaleur. Pour un débit de fluide fixe dans un canal vertical, les effets de flottabilité se traduisent par des inversions du flux au milieu du canal, puisque le fluide dans la région proche de la paroi chaude reçoit une force supplémentaire (force de flottabilité).

La convection mixte transitoire dans un tube vertical avec une source de chaleur sans l'effet de la paroi a été étudiée par un Grand nombre de chercheurs. Parmi les pionniers qui ont analysé l'écoulement laminaire en convection mixte transitoire dans un tube vertical on retrouve [1] qui ont étudié l'influence de la force de pesanteur sur les caractéristiques hydrodynamiques et thermiques en situation de convection mixte dans un tube vertical à paroi isotherme, et [2] qui ont étudié l'écoulement laminaire en convection mixte transitoire dans un tube vertical. Ils ont réalisé leur étude avec une condition limite à la paroi de type Dirichlet. Une étude plus complexe réalisée par [3] qui ont analysé trois types de conditions aux limites dans un canal vertical entre deux plaques planes parallèles. Leur étude a été réalisée sur un écoulement ascendant en convection mixte aidée. Ils ont trouvé pour tous les cas une corrélation théorique d'apparition d'une inversion dans le profil de vitesses en fonction du rapport entre le nombre de Reynolds et le nombre de Grashof. Dans la même géométrie [4], Ils ont analysé trois types de conditions aux limites dans un canal vertical mais sur un écoulement descendant en convection mixte contrariée. De même, des

critères d'apparition des zones de recirculation ont été établis en fonction du rapport (Gr/Re). Pour les deux types de convection mixte favorable et défavorable dans un tube vertical traitant le régime transitoire ont trouvé [5] qui présente une étude comparative du transfert de chaleur par convection mixte favorable et défavorable dans un tube vertical. Il montre que dans le cas de la convection mixte défavorable il y a une augmentation du transfert de chaleur par rapport au cas de la convection mixte favorable.

L'effet de la paroi est très important dans l'étude d'un écoulement en convection mixte surtout lorsqu'on utilise des températures élevées ou de forts gradients de température, puisque c'est le cas rencontré le plus souvent dans les installations industrielles courantes. A été abordé par plusieurs auteurs. Parmi les auteurs qui ont analysé L'effet de la paroi sur le transfert de chaleur pour un écoulement laminaire en convection mixte instationnaire qui a été pris en compte par [6], ont étudié l'influence de la conduction axiale sur la convection mixte favorable dans un tube vertical. et ils ont observé que les zones de recirculation apparaissent même en amont de la section chauffée ce qui prouve l'importance de la conduction axiale. Et [7] ont mené une analyse numérique sur la convection mixte aidée et opposée en conduites circulaires verticales et horizontales avec présence de renversement; Leurs résultats indiquent que les zones de recirculation augmentent avec Gr/Re mais diminuent considérablement quand Pe augmente pour un Gr/Re constant. De plus, Laplante et Bernier ([8]- [10]) Ont étudié numériquement la convection mixte défavorable en régime laminaire à l'intérieur d'une conduite circulaire et verticale, dans laquelle la conduction dans la paroi est significative, Des résultats ont présentés l'influence des propriétés physiques et géométriques sur l'évolution transitoire des grandeurs thermiques (flux de chaleur à l'interface paroi-fluide et distribution radiale de température) et sur les grandeurs dynamiques (coefficient de frottement et champs des vecteurs vitesses).

Et vu que la plupart des travaux ont traité le problème de la convection mixte en régime stationnaire, alors qu'en régime transitoire, la plupart d'études existantes négligent le couplage entre le fluide et la paroi. C'est pour ça on est motivé pour étudier la convection mixte conjuguée en régime transitoire.

II. FORMULATION MATHEMATIQUE DU PROBLEME

Les équations de conservation qui régissent ce type d'écoulement, à savoir, l'équation de continuité, l'équation de quantité de mouvement et l'équation de l'énergie, *Patankar* [5]. L'introduction de variables adimensionnelles dans ces équations fait ressortir des adimensionnels qui sont les nombres de Rayleigh et de *Prandtl* caractérisant ainsi le système.

$$X = \frac{x}{H}, \quad Y = \frac{y}{H}, \quad \tau = \frac{\alpha t}{H/V_0}, \quad U = \frac{u}{V_0}, \quad V = \frac{v}{V_0}, \quad P^* = \frac{p}{\rho V_0^2}, \quad \theta = \frac{T - T_f}{T_c - T_f}$$

Où Gr , Pr et Re sont respectivement les nombres de *Grashof*, de *Prandtl* et de *Reynolds*, ils sont définis par les expressions suivantes :

$$Gr = \frac{g \beta (T_w - T_0) H^3}{\nu_0^2}, \quad Pr = \frac{\mu_0 Cp}{k}, \quad Re = \frac{V_0 H}{\nu_0}$$

On suppose que l'écoulement et le transfert de chaleur sont bidimensionnels, que les propriétés du fluide sont constantes et l'approximation de *Boussinesq* est valide.

Le système des équations régissant le modèle s'écrit sous la forme adimensionnelle suivante:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right) \right] + \frac{Gr}{Re^2} \theta \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{Re Pr} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(K^* \frac{\partial \theta}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(K^* \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) \right] \quad (4)$$

III. LES CONDITIONS AUX LIMITES

Le système d'équations précédent doit être résolu sous certaines conditions aux limites bien déterminées. Ces conditions correspondent aux caractéristiques du problème de convection mixte dans un canal verticale.

- $\tau = 0, U = V = 0, \theta = 0.5$
- Pour $\tau > 0$, on a les conditions aux limites pour le champ dynamique et le champ thermique illustrées dans Fig. 1.

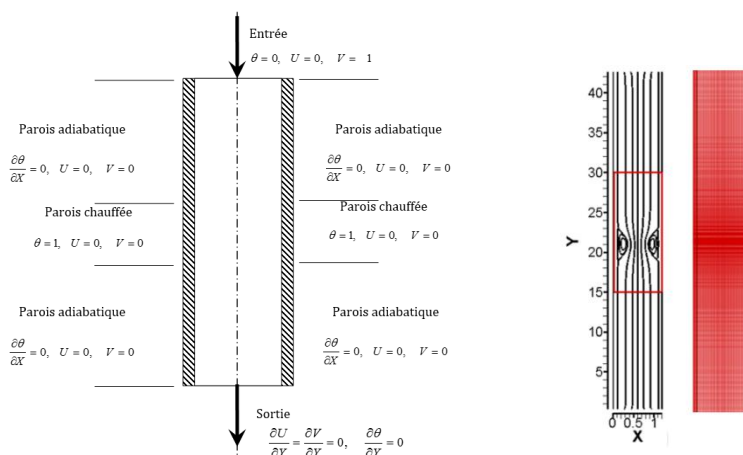


Figure (1) : Conditions aux limites sous forme adimensionnelle du champ de vitesse et du champ de température.

La procédure numérique utilisée dans ce travail est celle des volumes finis, elle consiste à intégrer les équations différentielles du modèle mathématique sur des volumes de contrôle finis pour obtenir les équations algébriques correspondantes. L'algorithme *SIMPLER* [11] a été choisi pour la correction vitesse-pression. Les termes convectifs dans toutes les équations de transport sont évalués en utilisant le schéma d'interpolation (centré). La discrétisation du terme temporel est faite selon un schéma totalement implicite. Nous avons utilisé un maillage raffiné de 72×270 non uniforme dans les deux directions.

• Validation

Afin de valider le code de calcul, les résultats sont présentés dans la figure (2) qui compare l'évolution du Distribution radiale de la température pour différentes positions axiales en convection mixte dans un tube vertical, les résultats numériques obtenus par A. Omara [9]. On peut bien remarquer que l'accord est satisfaisant.

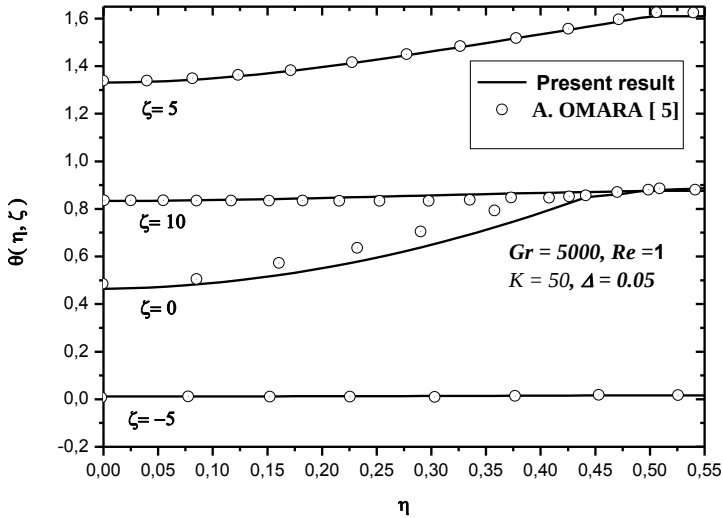


Figure (2) : Comparaison du Distribution radiale de la température pour différentes positions axiales entre présent résultat et [9].

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

Cette étude présente les résultats des simulations numériques de la convection mixte transitoire conjuguée dans un tube vertical. Une température constante T_w est appliquée sur la partie centrale. Cette section est située entre deux sections adiabatiques ($Y=21$, $Y=22$) qui permettent l'étude de la diffusion dans le fluide et la paroi du tube, le fluide est laminaire, transitoire et pénètre le tube d'une manière descendante (du haut vers le bas); donc on est en présence de la convection mixte opposée.

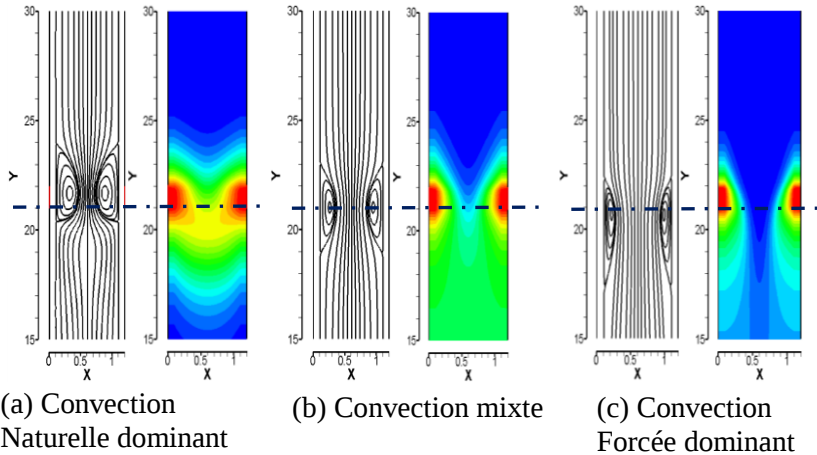
Et pour une meilleure compréhension des caractéristiques transitoires du transfert de la chaleur par convection mixte conjuguée, toutes les simulations numériques ont été effectuées pour un nombre de Pr qui varie entre 0,01 et 7, ce qui représente les propriétés du fluide utilisé, et le nombre de Re de 5 à 500, et ces nombres sont examinés pour différentes valeurs du nombre de Gr .

A. L'influence de paramétrés Re sur la nature de convection (convection naturelle dominant, Convection mixte et convection forcée dominant)

L'objectif principal de cette étude était d'étudier les effets de Re sur le transfert de chaleur dans un tube. Après avoir effectué 30 simulations numériques pour une plage de $10 < Re < 500$, le nombre de Gr varie entre

10^3 à 10^5 , $K=50$, et le nombre de $Pr = 0.7$, on a constaté que le régime d'écoulement (stable ou Instable) est lié au nombre de Gr , et il a également été trouvé à partir des résultats qu'il existe trois types de régime d'écoulement:

- Lorsque $10 < Re < 50$, la convection naturelle domine
- Lorsque $50 < Re < 70$ équilibre entre la convection naturelle et la convection forcée
- Quand $Re > 70$ la convection forcée domine



Figure(3) : Contours des fonctions du courant ψ et des isothermes pour le cas critique des différentes valeurs de Re : (a) $Re = 10$, $Gr_c = 1.0 . 10^4$, (b) $Re = 50$, $Gr_c = 1.5 . 10^4$ (c) $Re = 200$, $Gr_c = 5.99 . 10^4$

La figure (3) représente les fonctions du courant et des isothermes pour le cas critique des différentes valeurs de Re , $Re = 10$ le point critique de nombre *Grashof* $Gr_c = 1.00 . 10^4$, $Re = 50$ le point critique de nombre *Grashof* $Gr_c = 1.5 . 10^4$, et $Re = 200$, le point critique de nombre *Grashof* $Gr_c = 5.99 . 10^4$, On remarque que :

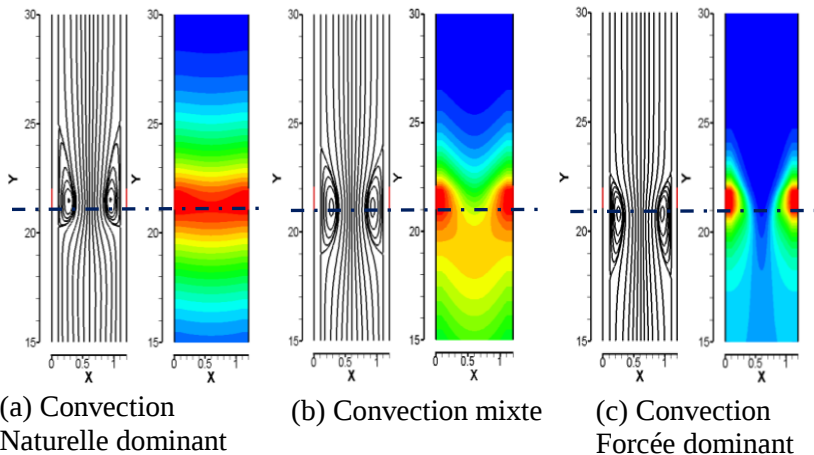
- Dans la convection naturelle dominant ($10 < Re < 50$) on trouve que la zone de circulation est épaisse, et se situe au-dessus du début de la partie chauffée et cela signifie que la force de flottabilité domine sur la force d'inertie.
- Dans la convection purement mixte ($50 < Re < 70$) on trouve que la zone de circulation se trouve au milieu de la partie chauffée, et elle est symétrique, ce qui signifie qu'il existe un équilibre entre les deux forces.
- Dans la convection forcée dominante (dont $Re > 70$) on remarque que la zone de circulation est située au-dessous de la partie

chauffée, et que sa largeur est inférieure à celle des deux cas précédents, et cela signifie que la force d'inertie domine sur la force de flottabilité.

B. L'influence nombre de Prandtl Pr sur la nature de convection (Convection naturelle dominant, Convection mixte et Convection forcée dominant)

Dans cette partie on étudie les effets de Pr sur le transfert de chaleur dans un circuit de centrale solaire. Après avoir effectué 50 simulations numériques pour une plage de $0,01 < Pr < 7$, le nombre de Gr de 10^3 à 10^6 et le nombre de $Re=50$, on a constaté que la nature du débit dépend du nombre de Pr , alors que le régime d'écoulement (stable ou Instable) est lié au nombre de Gr , et il a également été trouvé à partir des résultats qu'il existe trois types de régime d'écoulement:

- Lorsque $0,01 < Pr < 0,1$, la convection naturelle domine
- Lorsque $0,1 < Pr < 1$ équilibre entre la convection naturelle et la convection forcée
- Quand $Pr > 1$ la convection forcée domine



Figure(4) : Contours des fonctions du courant ψ et des isothermes pour le cas critique des différentes valeurs de Pr : (a) $Pr = 0.01$, $Gr_c = 7.0 \cdot 10^5$, (b) $Pr = 0.1$, $Gr_c = 8.0 \cdot 10^4$ (c) $Pr = 1$, $Gr_c = 3.1 \cdot 10^4$

La figure (4) représente les fonctions du courant et des isothermes pour le cas critique des différentes valeurs de Prandtl, $Pr = 0.01$ le point critique de nombre Grashof $Gr_c = 7.0 \cdot 10^5$, $Pr = 0.1$ le point critique de nombre Grashof $Gr_c = 8.0 \cdot 10^4$, et $Pr = 1$ le point critique de nombre Grashof $Gr_c = 3.1 \cdot 10^4$, On remarque que :

- Dans la convection naturelle dominante ($0.01 < Pr < 0.1$) on trouve que la zone de circulation est épaisse, et se situe au-dessus du début de la partie chauffée et cela signifie que la force de flottabilité domine sur la force d'inertie.
- Dans la convection purement mixte ($0.1 < Pr < 1$) on trouve que la zone de circulation se trouve au milieu de la partie chauffée, et elle est symétrique, ce qui signifie qu'il existe un équilibre entre les deux forces.
- Dans la convection forcée dominante ($dont Pr > 1$) on remarque que la zone de circulation est située au-dessous de la partie chauffée, et que sa largeur est inférieure à celle des deux cas précédents, et cela signifie que la force d'inertie domine sur la force de flottabilité.

V. CONCLUSION

Dans le présent travail, une étude numérique a été réalisée pour étudier la convection mixte laminaire transitoire conjuguée dans un tube vertical, soumis sur sa zone centrale à un température constant. La solution tient compte de la conduction de la paroi. Ce qui suit est un bref résumé des principaux résultats.

- On trouve que la force d'inertie qui est en position descendant est stimulée par le nombre de Re et le nombre de Pr , alors que la force de flottabilité qui est en position ascendante est liée au nombre de Gr , et ce sont ces deux forces qui vont influencer sur la nature de la nature de la convection et sur le régime d'écoulement.
- Le nombre de Gr à une influence sur le régime d'écoulement (laminaire stable ou transitoire), et que le nombre de Re et le nombre de Pr réagit sur la nature de la convection (convection naturelle dominante, Convection mixte et convection forcée dominante).
- L'influence du nombre de Gr et du nombre de Re et le nombre de Pr , se fait par la formation d'une zone de circulation.

REFERENCES

- [1]. Zeldin, B. and Schmidt, F.W., "Developing Flow with Combined Forced-Free Convection in an Isothermal Vertical Tube, " J. Heat Transfer, 1972, 94, MAY, pp. 211-223.
- [2]. J. D. Jackson, M. A. Cotton, and B. P. Axccl, "Studies of Mixed Convection in Vertical Tubes, " Int. J. Heat Fluid Flow, 1989, vol. 10, no. 1, pp. 2-15.

- [3]. C. H. Cheng and C.J.Weng., "Developing flow of mixed convection in a vertical rectangular duct with on heating wall, " Numer. Heat Transfert Par A, 1993, 24, 279-493.
- [4]. B. R. Mortan, D. B. Ingham, D. J. Keen, and P. J. Heggs, "Recirculating Combined Con-vection in Laminar Pipe Flow, " ASME J. Heat Transfer, 1989, vol. 111, pp. 106–113.
- [5]. D. D. Joye, "Comparison of aiding and opposing mixed convection heat transfer in a vertical tube with Grashof number variation, " Int. J of Fluid Flow, 1996, 17, 96-101.
- [6]. M. A. Bernier and D. B. Baliga, "Conjugate Conduction and Laminar Mixed Convection in Vertical Pipes for upward Flow and Uniform Wall Heat Flux, "Numer. Heat Transfer A, 1992, vol. 21, pp. 313-332.
- [7]. M. Wang, T. Tsuji, Y. Nagano, "Mixed convection with flow reversal in the thermal entrance region of horizontal and vertical pipes, " Int. J. Heat Mass Transfer, 1994, 37 (15). 2305-2319.
- [8]. G. LaPlante, et M. A. BERNIER, " Etudes numériques sur la convection mixte dans des conduites verticales, "Int. J. Heat Mass Transfer. 1997, Vol. 40, No. 15, pp. 3527-3536.
- [9]. A. Omara, S.Abboudi, "Transient heat transfer analysis laminar flow. " Numerical Heat Transfer, 2006, Part A1, 1–24.
- [10]. M. Boumaza, A. Omara, "Numerical investigation of transport phenomena properties on transient heat transfer in a vertical pipe flow, " Journal of King Saud University – Engineering Sciences 2013.
- [11]. S.V. Patankar, Numerical heat transfer and fluid flow, Hemisphere, Washington DC, 1980.



Etude des paramètres physico-chimiques et de l'activité antioxydante de trois vinaigres de cidre traditionnels issus de trois variétés de pomme de la région de Midelt au Maroc

Driss Ousaaid¹, Ismail Mansouri², Mouad Rochdi², Badiaa Lyoussi¹ et Ilham El Arabi¹

1- Laboratoire de Pharmacologie Physiologie et Santé Environnementale. Faculté des sciences Dhar El Mahraz, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

2- Laboratoire d'écologie fonctionnelle et Environnement. Faculté des Sciences et Techniques, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

Résumé-

Le vinaigre était connu par la plupart des anciennes civilisations. Il est utilisé comme condiment, comme agent de conservation ou, dilué dans l'eau, comme boisson. Ce bioproduit est obtenu exclusivement par procédé biotechnologique d'une double fermentation (alcoolique et acétique) de liquides ou d'autres substances agricoles. Dans notre étude on s'intéresse à trois vinaigres de cidre produits à partir de trois variétés de pomme : VCP1 (*RédDélicious*) VCP2 (mélanges de trois variétés *RédDélicious*+ *Golden Délicious*+*starkrimson*) et VCP3 (*Golden Délicious*). Les résultats d'analyses de quelques paramètres physico-chimiques et biochimiques montrent que les vinaigres étudiés se caractérisent par un pH acide, des teneurs importantes en matières sèches, une conductivité électrique élevée et une forte concentration en sel minéraux avec une prédominance de K^+ dont le taux maximal (41,86 mg/l) se trouve dans la variété de vinaigre VCP2. La présente étude révèle également une teneur en acidité totale de $4,35 \pm 0,69\%$ pour la variété VCP1. La teneur la plus élevée en polyphénols de l'ordre de $2,02 \pm 0,05$ mg EAG/L est déterminée chez la variété VCP1 et celle de l'activité antioxydante est de l'ordre de $19,48 \pm 2,01$ mg EAA/ml chez la même variété de vinaigre VCP1.

Mots clés : Vinaigre de cidre de pomme, polyphénols totaux, activité antioxydante totale, paramètres physicochimiques, Midelt.

Study of physico-chemical parameters and antioxidant activity of three traditional apple cidre vinegars from three apple varieties of the Midelt area in Morocco

Abstract-

Vinegar was known by most ancient civilizations. It is used as a condiment, as a preservative or, diluted in water, as a drink. This bioproduct is obtained exclusively by biotechnological process of a double fermentation (alcoholic and acetic) of liquids or other agricultural substances. In our study we are interested in three cider vinegars produced from three varieties of apple: VCP1 (RédDélicious) VCP2 (mixtures of three varieties RédDélicious + Golden Delicious + starkrimson) VCP3 (Golden Delicious). The results of analyzes of some physico-chemical and biochemical parameters show that the vinegars studied are characterized by an acidic pH, high dry matter contents, high electrical conductivity and a high concentration of mineral salts with a predominance of K^+ . Maximum level (41.86 mg/l) is found in the VCP2 vinegar variety. The present study also revealed a total acidity of $4.35 \pm 0.69\%$ for the VCP1 variety. The highest content of polyphenols of the order of 2.02 ± 0.05 mg EAG/L is determined in the VCP1 variety and that of the antioxidant activity is of the order of 19.48 ± 2.01 mg EAA/ml in the same variety of VCP1 vinegar.

Key words: Apple cider vinegar, total polyphenols, total antioxidant activity, Physico-chemical parameter, Midelt.

1.- Introduction

Le Maroc cherche depuis longtemps à valoriser les produits du terroir à travers leur transformation par biotechnologies alimentaires, le secteur du pommier occupe actuellement une superficie d'environ 29788 ha et se place au deuxième rang parmi les rosacées cultivées après l'amandier (MAPM, 2014). Les produits à base de pommiers sont nombreux et diversifiés, parmi lesquels on peut énumérer le vinaigre de cidre de pomme. Certains pays, s'orientent vers les industries de transformation des pommes qui, malheureusement, restent faibles voir même absentes au Maroc. La pomme, avec sa composition variée et son faible apport calorique (54 Kcal au 100 g), est souvent considérée comme un « fruit santé » (Food-allergens, 2012). La phrase célèbre : «Une pomme par jour garde le médecin loin !» réconforte les recommandations données par les nutritionnistes au grand public pour rester en forme et en bonne santé. Les pommes constituent une partie importante de l'alimentation humaine, car elles sont une source de monosaccharides, de minéraux, des fibres alimentaires et de divers composés biologiquement actifs, tels que la vitamine C, et certains composés phénoliques composés connus pour agir comme antioxydants naturels (Wu et al., 2006).

La préparation du vinaigre de pomme passe par deux fermentations successives, la première est alcoolique, elle se fait en anaérobiose et durant laquelle les sucres naturels de la pomme (glucose, saccharose, fructose, etc.) sont transformés par *Saccharomyces cerevisiae* en alcool éthylique (Serrano et Delafuente, 1974, Zamora, 2009), et la deuxième durant laquelle l'alcool est transformé en acide acétique, par des bactéries acétiques en présence d'oxygène (Guiraud, 1998, Akin, 2008). Le procédé traditionnel utilisé est un savoir-faire local ancestral qui utilise un matériel artisanal conférant à ce produit des avantages organoleptiques et thérapeutiques que l'on ne retrouve pas chez le vinaigre industriel (Ould El-Hadj, 2001). Cette bioconversion traditionnelle utilise des levures et des bactéries locales qui existent naturellement sur les pommes. Face à ce constat, la présente étude vise à la recherche de quelques propriétés physico-chimiques et l'activité antioxydante de quelques types de vinaigres de cidre de pomme collectés à travers la région de Midelt.

2.- Matériel et méthodes

Matériel biologique

Les échantillons de vinaigres collectés sont élaborés à partir de différentes variétés de pommes dont *RédDélucious*(VCP1), *Golden Délucious*(VCP3), *starkrimson* (VCP2 issu de mélange de ces trois variétés précitées). Les échantillons de vinaigre de cidre de pomme sont collectés à Midelt qui se caractérise par un climat méditerranéen intramontagnard de haute plaine (Rhanem, 2010). Elle est encadrée par les reliefs moyen-atlasiques et haut-atlasiques; à l'est (Saadi, 2003). Cette zone intra montagnaise possède des caractéristiques pédoclimatiques favorable au développement et à la fructification de pommier.

Le vinaigre de cidre de pomme (VCP) utilisé dans notre étude est un vinaigre artisanal destiné à la commercialisation. Les échantillons sont conservés à la température ambiante avant d'effectuer les analyses.

✓ Méthodes d'analyses

Pour chaque échantillon de vinaigre traditionnel de pomme considéré, les différentes analyses s'effectuent en trois essais. Les différentes méthodes d'analyses effectuées sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1.- Analyses physico-chimiques et biochimiques effectués.

Analyse	Méthode	Référence
pH	Potentiométrie	Rejsek (2002)
Conductivité électrique	Conductimétrie	Rejsek (2002)
Matière sèche	Gravimétrie	Audigie et al. (1984)
Eléments Minéraux	Absorption atomique	Audigie et al. (1984)
Acidité totale	Titration	AFTER – FP7 n°245025 (2011)
Polyphénols totaux	Folin-Ciocalteu	Singleton (1999)
Activité antioxydante totale	DPPH	Popovici (2009)

Analyses statistiques

L'analyse de variance (ANOVA) one way a été utilisée pour déterminer la signification ($P \leq 0,05$) des données obtenues dans tous les tests. Les résultats ont également été exprimés sous forme de dendrogramme, Cette technique a été fondée sur la distance euclidienne. Réalisé par le logiciel PAST qui regroupe les échantillons analysés selon les similitudes.

3.- Résultats et discussion

Le pH des échantillons de vinaigre de pommes étudiés est compris entre 2,74 et 3,73, le vinaigre VCP1 a un pH de 2,74, VCP3, VCP2, ont un pH de 2,97 et 3,41, respectivement (figure 1). Masino et al. (2005 et 2008) signalent des pH allant de 2, 40 $\pm$ 0, 13 à 2,49 $\pm$ 0,2, pour le vinaigre traditionnel balsamique. La valeur du pH de VCP1 et VCP3 est comparable avec les résultats trouvé par Matloob (2014) pour le vinaigre de pomme, le pH de VCP2 est comparable à celui évoqué par d'autres auteurs sur le vinaigre des dattes (Sebihi, 1996) ayant des valeurs de pH de l'ordre de 3,12 à 3,65. Selon Dowson et Aten (1963), l'activité des microorganismes acidophiles, abaisse le pH du milieu, suite aux processus de fermentation. Ce pH acide relié à la quantité d'acidité présente est d'une grande importance car il donne au vinaigre ses propriétés antiseptiques qui aident à empêcher le développement des microorganismes pathogènes (Chang et Fang, 2007; Medina et al., 2007; Shah et al., 2013; Hindi, 2013). La conductivité électrique des variétés de vinaigres traditionnels de pommes étudiées montre des valeurs très proches, valeurs allant de 2,54 ms/cm (VCP4) à 3,23 ms/cm (VCP2) (figure 1). Cette conductivité élevée est due à la richesse en minéraux des pommes à partir desquelles le vinaigre a été extrait, les valeurs

de conductivité trouvées dans cette étude sont supérieures à celles trouvées par Matloob (2014). Ce qui peut être expliqué par l'influence des conditions édapho-climatiques, fertilisants, sur les variétés de pomme utilisées pour l'extraction du vinaigre de cidre.

La teneur en matière sèche est de 1,009% pour VCP2 et de 2,817% pour VCP1 (figure 2), indique par ailleurs, que les vinaigres de pomme étudiés présentent un taux de matière sèche faible par rapport à celui de vinaigre des dattes évoqué dans une autre étude par Sebihi en 1996. Cette différence est probablement liée à la différence de texture entre les fruits et à la méthode et les conditions utilisées dans le processus de fabrication de ce bioproduit (Sebihi, 1996). Le degré d'acidité des variétés de vinaigres étudiées varie entre 4,35 et 1,2 g/100 ml de vinaigre, le degré d'acidité nous renseigne sur la teneur en acides organiques contenus dans le vinaigre, le VCP1 est le plus riche avec une valeur de 4,35g/100 ml de vinaigre (figure 2).

De nombreux acides organiques se trouvent naturellement dans plusieurs variétés de fruits et aliments fermentés, y compris les acides acétique, lactique, ascorbique, citrique, malique, propionique, succinique et tartrique, à des taux non excessif, Aucun de ces acides n'est dangereux pour la santé humaine (Sengun et Karapinar, 2004).

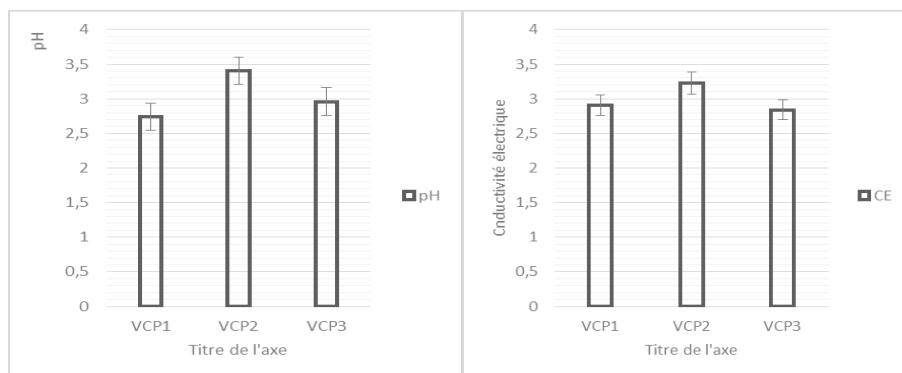


Figure 1 : Valeur du pH des 3 vinaigres, et conductivité électrique (CE) des 3 vinaigres.

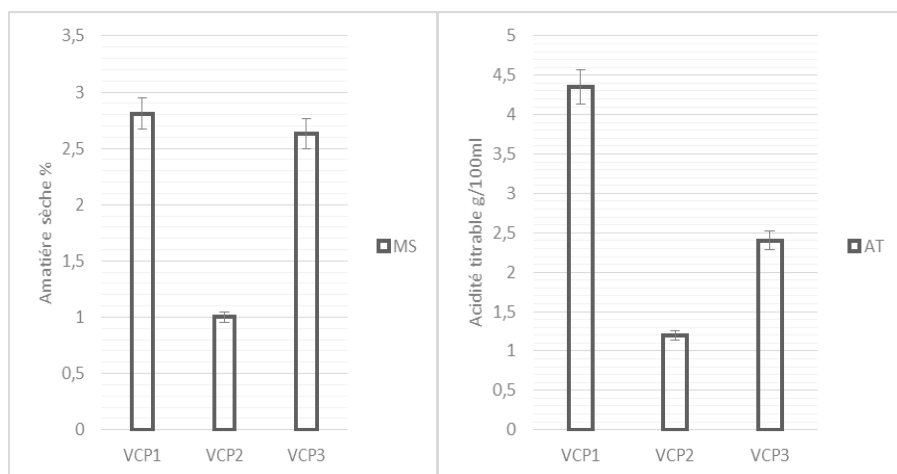


Figure 2 : Matière sèche (MS) des trois vinaigres, et acidité titrable (AT) des trois vinaigres.

D'après le tableau 2, les différents types de vinaigre traditionnel de pommes sont riches en K^+ dont la teneur la plus élevée est observée dans le vinaigre VCP2 issu de mélange de trois variétés avec $41,86 \pm 0,50$ mg/l, la teneur la plus faible est d'ordre de $32,40 \pm 0,50$ mg/l pour le vinaigre VCP1.

Tableau 2 : Teneurs minérales des échantillons de vinaigres (mg/l).

	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Al	Pb
VCP1	32,403	0,199	1,644	1,572	0,499	0,045	0,057	0,066	< 0.01	< 0.01	< 0.01
VCP2	41,863	0,039	2,620	1,746	0,581	0,053	0,058	4,212	< 0.01	< 0.01	< 0.01
VCP3	39,040	0,157	1,569	1,642	0,500	0,050	0,055	0,014	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Le tableau 2 montre la teneur moyenne en Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Al et Pb éléments déterminés par la méthode d'absorption atomique ICP. La composition minérale de vinaigre diffère d'un échantillon à l'autre. Cependant, les 3 vinaigres se caractérisent par une richesse en potassium K^+ à une valeur maximale de 41,9 mg/l pour VCP2. Les teneurs en d'autres minéraux sont plus modestes. La valeur maximale pour le calcium est de 2,620 mg/l (VCP2) pour le zinc est 4,212 mg/l (VCP2), cette différence dans la composition minérale des différents vinaigres étudiés est étroitement liée à la composition du fruit de chaque variété qui est influencée par l'origine géographique et édaphique et les fertilisants utilisés qui ont un impact direct sur la composition minérale des fruits récoltés. D'après cette étude, le vinaigre VCP2, qui est produit à partir de 3 variétés de pomme mélangés, possède des teneurs les plus élevées de la majorité des sels minéraux (tableau 2).

La concentration en polyphénols totaux (PPT) est déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu qui est basée sur une courbe étalon utilisant l'acide gallique comme standard, la quantité de PPT a été exprimée en mg d'équivalent d'acide gallique (EAG) par millilitre de vinaigre. Les méthodes de l'évaluation du potentiel antioxydant sont nombreuses et variées, cette activité est déterminée par la méthode de Popovici et al. (2009). Utilisant l'acide ascorbique comme standard, la capacité antioxydante des différents vinaigres a été évaluée sous forme d'équivalents d'acide ascorbique (mg EAA / ml de vinaigre). Les résultats sont représentés dans la figure 3:



Figure 5: La teneur en polyphénols totaux PPT en mg EAG/ml de vinaigre, et l'activité antioxydante totale (AO) en mg EAA/ml de vinaigre des trois variétés de vinaigre.

D'après les résultats obtenus dans la figure 3, la quantité des polyphénols totaux est estimée à $(2,02 \pm 0,05)$ mg d'EAG/ml de vinaigre comme la valeur la plus élevée pour VCP1 suivie par celle de vinaigre VCP3 qui a une teneur de l'ordre de $(1,25 \pm 0,02)$ mg EAG/ ml de vinaigre, et vient en troisième rang VCP2 avec une quantité de polyphénols de $(0,86 \pm 0,004)$ mg EAG/ml de vinaigre. Selon Guyot et al. (2014), les pommes douces, acidulées, aigres ont une teneur en polyphénol ne dépassant pas 2 g/l, les pommes douce-amère ont une teneur comprise entre 2 et 3 g/l, par contre les pommes amère ont une teneur en polyphénols supérieur à 3 g/l. Torres et al. (2011) signalent que la valeur en polyphénol totaux dans le jus de pomme douce, dont les variétés : *RédDélicious*, *Golden Délicious*, *starkrimson*, est de l'ordre de $6,38 \pm 123$ mg EAG/ml.

Cette différence de teneur en polyphénols est en relation étroite avec la nature de la variété de la pomme à partir de laquelle le vinaigre est issu, ainsi que le processus biotechnologique adopté pour la production de ce

bioproduit. Plusieurs études montrent que les polyphénols ont divers activités intéressantes comme une activité antioxydante (Sato et al., 1996; Slusarczyk, 2009), une activité cardioprotectrice (Vita, 2005; Singh et al., 2008; Nadtochiy, 2011; Khurana et al., 2013; Santhakumar et al., 2013; 2015), une activité anticancéreuse (Davalli et al., 2012; Zhao et al., 2014), l'activité antiinflammatoire (Martinez-Dominguez et al., 2001; Santangelo et al., 2007; Larrosa et al., 2009), une activité antimicrobienne (Jung et al., 2005; Baydar et al., 2006; Alvarez-Suarez et al., 2010; Plumed-Ferrer et al., 2013; Kolodziejczyk et al., 2013).

Par ailleurs, l'activité antioxydante des trois vinaigres testés, montre que le vinaigre VCP1 est le plus actif parmi les trois variétés de vinaigres avec une activité de l'ordre de 19,48 mg EAA/ml de vinaigre, par contre VCP2 et VCP3 ont des valeurs beaucoup plus faible de 2,53 et 1,39 mg EAA/ml de vinaigre, respectivement. Cette différence est liée à la teneur en antioxydants tels que les polyphénols, surtout les flavonoïdes, les vitamines ou les oligo-éléments (VCP1 est le plus riche). La variété de vinaigre VCP1 révèle une activité antioxydante importante par rapport aux 2 autres variétés VCP2 et VCP3, ceci peut être expliqué par le fait que ce type de vinaigre est issu d'une variété de pomme riche en polyphénols, les vitamines (C et E) et les oligoéléments, notamment le magnésium et le potassium. Les espèces réactives d'oxygène comme la super oxyde, le peroxyde d'hydrogène, le radical hydroxyle affectent les lipides, les protéines et l'ADN entraînant un vieillissement accéléré, le cancer et des troubles de la dégénérescence cérébrale (Buonocore et al., 2010; Maes et al., 2011). Les substances bioactives telles que les polyphénols et les vitamines contenus dans différents types de vinaigre étudiés agissent contre le stress oxydatif grâce à leur activité antioxydante (Davalos et al., 2005). D'autres études ont montré que le vinaigre de cidre possède aussi un effet hépato-protecteur (Nassar Ayoub Abdellatif Omar et al., 2015).

Comparaison des vinaigres étudiés selon leur teneur en minéraux

Les résultats de la composition minérale des vinaigres permettent de discuter trois groupes (figure 4). Ce dendrogramme nous permet de regrouper les variétés de vinaigre selon les minéraux prédominants en deux groupes, chaque groupe présente des teneurs comparables en oligoéléments.

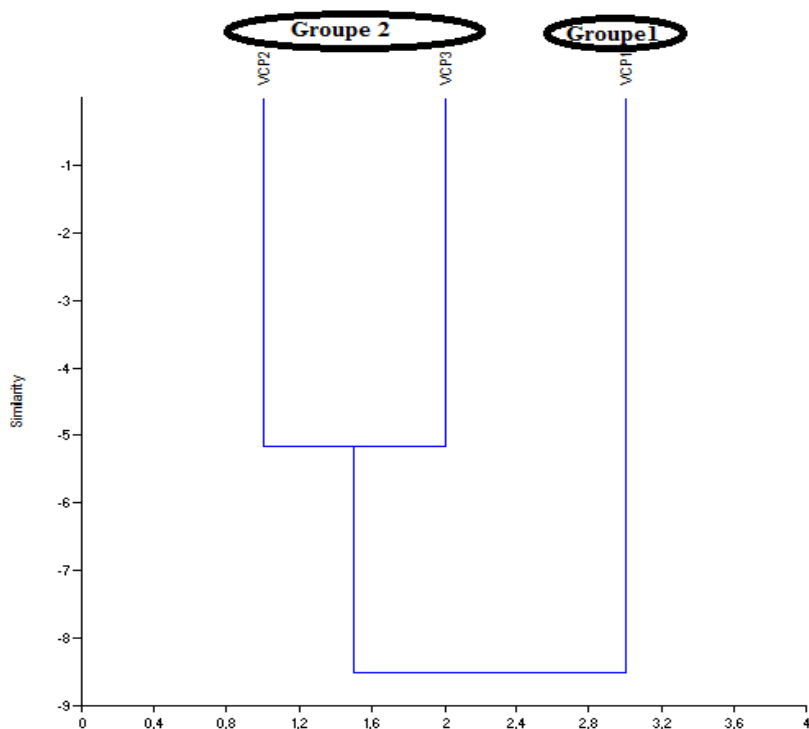


Figure 4: Dendrogramme obtenu à partir de la teneur en minéraux des différents vinaigres de cidre de pomme.

Groupe 1 : contient un seul échantillon de vinaigre VCP1 qui se caractérise par :

- Une teneur moyenne en potassium d'ordre de 32,403 mg/l.
- Une teneur moyenne en calcium d'ordre de 1,644 mg/l.

Groupe 2 : contient deux échantillons de vinaigre VCP2 et VCP3 qui se caractérisent par :

- Une teneur moyenne en potassium d'ordre de 39,040 à 41,863 mg/l.
- Une teneur moyenne en calcium d'ordre de 1,569 à 2,620 mg/l.
- Une teneur moyenne en zinc d'ordre de 0,014 à 4,212 mg/l.

On peut attribuer l'augmentation de la teneur en potassium dans VCP2 à la variété *Golden Délicious* plutôt que la variété *RédDélicious* puisque VCP3 issu exclusivement de *Golden Délicious* est plus riche en potassium que VCP1.

Conclusion

L'étude de quelques caractéristiques physico-chimiques et activité antioxydante de trois variétés de vinaigres de pomme élaborés par un processus traditionnel à partir de différentes variétés de pomme de la région de Midelt, *RédDélucious* (VCP1) mélanges de trois variétés *RédDélucious+Golden* *Délucious+starkrimson* (VCP2), *Golden Délucious* (VCP3). Les vinaigres étudiés sont destinés à la commercialisation. Les résultats obtenus montrent, que les trois variétés de vinaigres traditionnels, présentent un pH acide, des teneurs importantes en matières sèches, en conductivité électrique, l'acidité titrable. L'analyse des éléments minéraux a permis d'évaluer des teneur en minéraux dans les trois vinaigres étudiés : les macroéléments (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+}) avec une dominance de K^+ , et des microéléments dont la concentration varie d'une variété de vinaigre à l'autre indiquant que le VCP2 est le plus riche en zinc avec une concentration de l'ordre de 4,212 mg/l ($P < 0,05$). L'évaluation de la teneur en polyphénols totaux indique que le vinaigre VCP1 est le plus riche en polyphénols avec une activité antioxydante élevée.

Références

- AFTER – FP7 n°245025 - Deliverable D.1.2.3.10 SOP :Chem-ExtPlantes-02, 2011.
- Akin, H 2008. Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique modélisation et interprétation métabolique. Thèse doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, option : Génie des Procédés et Environnement : 121.
- Alvarez-Suarez, J.M.; Tulipani, S.; Diaz, D.; Estevez, Y.; Romandini, S.; Giampieri, F.; Damiani, E.; Astolfi, P.; Bompadre, S.; Battino, M.M.A.B. 2010, Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds. Food Chem. Toxicol. 48, 2490–2499.
- Audigie CL.; Figarelle J; et Zonszain F. 1984; Manipulations d'analyses biochimiques; 1ère édition, Ed. Doin, Paris, 274 p.
- Baydar, N.G.; Sagdic, O.O.E.E.; Ozkan, G.; Cetin, S. 2006, Determination of antibacterial effects and total phenolic contents of grape (*Vitisvinifera* L.) seed extracts. Int. J. Food Sci. Technol. 41, 799–804.
- Buonocore G, Perrone S, Tataranno MN. 2010. Oxygen toxicity: chemistry and biology of reactive oxygen species. Semin Fetal Neonatal Med 15:186–90.
- Chang J, Fang TJ. 2007. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella entericaserovarstypimurium* in iceberg lettuce and the

antimicrobial effect of rice vinegar against *E. coli* O157:H7. *Food Microbiol* 24:745–51.

Chavez, J.H.; Leal, P.C.; Yunes, R.A.; Nunes, R.J.; Barardi, C.R.; Pinto, A.R.; Simoes, C.M.; Zanetti, C.R. 2006, Evaluation of antiviral activity of phenolic compounds and derivatives against rabies virus. *Vet. Microbiol.* 116, 53–59.

Davalli, P.; Rizzi, F.; Caporali, A.; Pellacani, D.; Davoli, S.; Bettuzzi, S.; Brausi, M.; D'Arca, D. 2012, Anticancer activity of green tea polyphenols in prostate gland. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 984219.

Davalos A, Bartolome B, Gomez-Cordoves C. 2005. Antioxidant properties of commercial grape juices and vinegars. *Food Chem* 93:325–30.

Dowson V. H. Z. et Aten A. 1963, Récolte et conditionnement de dattes; Ed. FAO, Rome: 11-44.

Food-allergens, 2012. Site Internet du symposium sur les allergènes alimentaires. Espace « Allergen Data Collections », fiche : Apple (*Malus domestica*), chapitre 5 : Composition of Apple. [http://www.food-allergens.de/..](http://www.food-allergens.de/)

Guiraud J.P 1998. Microbiologie alimentaire. Edition DUNOD1998, Paris : 615.

Guyot S. Symoneaux R. Le Quéré J.-M, Bauduin R 2014. Les Polyphénols de la Pomme aux Cidres : diversité variétale et procédés, facteurs clé de la modulation des saveurs et des couleurs, *Innovations Agronomiques* 42,105-123.

Hashim Matloob M, 2014. Zahdi date Vinaigre : Production et caractérisation. *American Journal of Food Technology*, 9:. 231.

Jung, H.J.; Hwang, I.A.; Sung, W.S.; Kang, H.; Kang, B.S.; Seu, Y.B.; Lee, D.G. 2005, Fungicidal effect of resveratrol on human infectious fungi. *Arch. Pharm. Res.* 28, 557–560.

Khurana, S.; Venkataraman, K.; Hollingsworth, A.; Piche, M.; Tai, T.C. 2013, Polyphenols: benefits to the cardiovascular system in health and in ageing. *Nutrients* 5, 3779–3827.

Kolodziejczyk, K.; Sojka, M.; Abadias, M.; Vinas, I.; Guyot, S.; Baron, A. 2013, Polyphenol composition, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of the extracts obtained from industrial sour cherry pomace. *Ind. Crop. Prod.* 51, 279–288.

Larrosa, M.; Luceri, C.; Vivoli, E.; Pagliuca, C.; Lodovici, M.; Moneti, G.; Dolara, P. 2009, Polyphenol metabolites from colonic microbiota exert anti-inflammatory activity on different inflammation models. *Mol. Nutr. Food Res.* 53, 1044–1054.

Maes M, Galecki P, Chang YS, Berk M. 2011. A review on the oxidative and nitrosative

stress (O&NS) pathways in major depression and their possible contribution to the (neuro)degenerative processes in that illness. *ProgNeuropsychopharmacolBiolPsychiatry* 35:676–9.

- MAPM, 2014. Note de veille 'pomme' ministère de l'agriculture et de la pêche maritime.
- Martinez-Dominguez, E.; de la Puerta, R.; Ruiz-Gutierrez, V. 2001, Protective effects upon experimental inflammation models of a polyphenol-supplemented virgin olive oil diet. *Inflamm. Res.* 50, 102–106.
- Masino F., Chinnici F., Franchini G. C., Ulrici A and Antonelli A.; 2005, A study of relationship among acidity, sugar and furanic compounds concentrations in set of casks for AcetoBalsamicoTradizionale of Reggio Emilia by multivariate technique; *Food chemistry*: 673-679.
- Masino F., Chinnici F., Bendini A., Montevicchi G. and Antonelli A.; 2008, A study on relationships among chemical, physical, and qualitative assesment in traditional balsamic vinegar; *Rev. Food chemistry*: 90-95.
- Medina, E., C. Romero, M. Brenes, and A. De Castro. 2007. "Antimicrobial Activity of Olive Oil, Vinegar, and Various Beverages against Foodborne Pathogens". *Journal of Food Protection*. 70(5):1194 – 1199.
- Nassar Ayoub Abdellatif Omar, Amal Nor Edeen Ahmad Allithy, Firas Mahmoud Faleh, Reham A. Mariah, Mongi Mohamed Ahmed Ayat, Sherine Ragab Shafik, Samah A. Elshweikh, Salah Mohamed El Sayed. 2015, Apple Cider Vinegar (A Prophetic Medicine Remedy) Protects against Nicotine Hepatotoxicity: A Histopathological and Biochemical Report. *American Journal of Cancer Prevention*, Vol. 3, No. 6, 122-127
- Nada KhazalKadhim Hindi 2013, In vitro Antibacterial Activity of Aquatic Garlic Extract, Apple Vinegar and Apple Vinegar - Garlic Extract combination. *American Journal of Phytomedicine and Clinical Therapeutics* ISSN 2321 – 2748.
- Nadtochiy, S.M.; Redman, E.K. 2011, Mediterranean diet and cardioprotection: The role of nitrite, polyunsaturated fatty acids, and polyphenols. *Nutrition* 27, 733–744.
- Ould el hadj M. D.; 2001. Qualité hygiénique et caractéristiques physico-chimiques du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette de Ouargla; *Revue des énergies renouvelables*, NS, Biomasse, CDER, Alger, 87-92.
- Plumed-Ferrer, C.; Vakevainen, K.; Komulainen, H.; Rautiainen, M.; Smeds, A.; Raitanen, J.E.; Eklund, P.; Willfor, S.; Alakomi, H.L.; Saarela, M.; von Wright, A. 2013, The antimicrobial effects of wood-associated polyphenols on food pathogens and spoilage organisms. *Int. J. Food Microbiol.* 164, 99–107.
- Popovici C, Saykova I, Tylkowski B, 2009. Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4, 25-39.
- Rhanem M 2010. Etude climatique en moyenne montagne méditerranéenne: le cas de la localité de Midelt dans le haut bassin versant de la Moulouya (Maroc) pour des fins bioécologiques *Quad. Bot. Amb. Appl.*, 21 (165-187.

- Rejsek f. 2002; Analyses des eaux. Aspects réglementaire et techniques; Ed. Scéren, Paris, 69-74.
- Saadi Z, Fedan B, Laadila M & Kaoukaya A. 2003, Les tidalites liasiques de la Haute Moulouya et du Moyen Atlas méridional (Maroc) : dynamique sédimentaire et contexte paléogéographique, Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°25, 55-71
- Santangelo, C.; Vari, R.; Scazzocchio, B.; Di Benedetto, R.; Filesi, C.; Masella, R. 2007, Polyphenols, intracellular signalling and inflammation. Ann. Ist. Super. Sanita 43, 394–405.
- Santhakumar, A.B.; Kundur, A.R.; Fanning, K.; Netzel, M.; Stanley, R.; Singh, I. 2015, Consumption of anthocyanin-rich queen garnet plum juice reduces platelet activation related thrombogenesis in healthy volunteers. J. Funct. Food. 12, 11–22.
- Santhakumar, A.B.; Bulmer, A.C.; Singh, I. 2013, A review of the mechanisms and effectiveness of dietary polyphenols in reducing oxidative stress and thrombotic risk. J. Hum. Nutr. Diet., 27, 1–21.
- Sato, M.; Ramarathnam, N.; Suzuki, Y.; Ohkubo, T.; Takeuchi, M.; Ochi, H. 1996, Varietal differences in the phenolic content and superoxide radical scavenging potential of wines from different sources. J. Agric. Food Chem. 44, 37–41.
- Shah, Q.A.; F. Bibi, M; and A.H. Shah, 2013. Anti-Microbial Effects of Olive Oil and Vinegar against Salmonella and Escherichia coli. The Pacific Journal of Science and Technology, Volume 14. Number 2.
- Sebihi A. 1996. Contribution à l'étude de quelques paramètres de la qualité hygiénique et biochimique de vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette de Ouargla. Thèse ing., INFS/AS, Ouargla.
- Sengun IY, Karapinar M. 2004. Effectiveness of lemon juice, vinegar and their mixture in the elimination of Salmonella typhimurium on carrots (*Daucus carota* L.). Intl J Food Microbiol 96:301–5.
- Serrano R., Delafuente G 1974. Regulatory properties of the constitutive hexose transport in *Saccharomyces cerevisiae*. Mol. Cell. Biochem, 5: 161-171.
- Singh, I.; Mok, M.; Christensen, A.M.; Turner, A.H.; Hawley, J.A. 2008, the effects of polyphenols in olive leaves on platelet function. Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis. 18, 127–132.
- Singleton V. L, Orthofer R, Lamuela-Raventos R. M, 1999, Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299, 152–178.
- Slusarczyk, S.; Hajnos, M.; Skalicka-Wozniak, K.; Matkowski, A.B.B.A. 2009, Antioxidant activity of polyphenols from *Lycopus lucidus* Turcz. Food Chem., 113, 134–138.
- Vita, J.A. Polyphenols and cardiovascular disease: Effects on endothelial and platelet function. Am. J. Clin. Nutr. 2005, 81, 292S–297S.

Wu J., Gao H., Zhao L., Liao X., Chen F., Wang Z., Hu X. (2006): Compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry*, 103: 88-93.

Zamora F 2009. *Biochemistry of Alcoholic Fermentation* (chapter 1). *Journal of Wine Chemistry and Biochemistry*:26.

Zhao, X.; Pang, L.; Li, J.; Song, J.L.; Qiu, L.H. 2014, Apoptosis inducing effects of Kuding tea polyphenols in human buccal squamous cell carcinoma cell line BcaCD885. *Nutrients*, 6, 3084–3100.



Perfectionnement des conditions du confort par l'isolation et l'amélioration de la compacité volumique du bâti

S. Bendara¹, S. M. A. Bekkouche² et T. Benouaz¹

1- Université de Tlemcen, BP. 119, Tlemcen R. p. 13000, Algérie.

2- Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie.

E.mail: bendarasmail@yahoo.fr

Résumé

Cet article présente une étude sur l'influence de la compacité d'un bâtiment sur l'évolution de la température et l'humidité en tenant compte le niveau d'isolation thermique. Nous voulons chercher la forme optimale de l'enveloppe en fonction de l'indice de confort Humidex. Par un modèle déjà validé et développé sous l'environnement de simulation "MATLAB", nous avons pu offrir la possibilité de varier le maximum de paramètres et propriétés thermiques vis-à-vis des sollicitations du milieu climatique extérieur. Les résultats de simulation donnent une idée globale sur ces principales stratégies de contrôle passif qui permettent d'améliorer les conditions du confort thermique intérieur. Nous avons prouvé qu'on peut abaisser le niveau d'isolation thermique global requis si la compacité du bâtiment est proche du niveau optimal.

Mots clés : Température, Humidité relative, Isolation thermique, Simulation numérique, Confort thermique.

Improvement of comfort conditions by thermal insulation and compactness concepts

Abstract-

This article presents a study on the influence of the compactness on the temperature and humidity as function of the thermal insulation level. The objective is to determine the optimum shape of the building envelope according to the humidex comfort index value. By a modelling approach, already validated and developed under a simulation environment "MATLAB", we were able to offer the possibility of varying the maximum

of parameters and thermal properties with regard to the seasonal variations of the external climatic environment. The simulation results give an overall idea of these main passive control strategies that improve the conditions of indoor thermal comfort. We have proven that the overall level of thermal insulation required can be lowered if the compactness is in the vicinity of the optimum level.

Mots clés : Temperature, Relative humidity, Thermal insulation, Numerical simulation, Thermal comfort.

1. INTRODUCTION

La compacité et l'isolation sont des principaux concepts à mettre en œuvre en vue d'une conception énergétiquement efficace. La compacité est généralement une règle en architecture bioclimatique car elle permet de limiter les surfaces déperditives ou soumises à un éclairage solaire important. C'est une notion géométrique utilisée pour maximiser le volume intérieur d'un contenant en fonction de sa forme, plus précisément le rapport entre la surface de l'enveloppe en contact avec l'extérieur et le volume du bâtiment. L'isolation permet en même temps d'accroître le confort et réduire les consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation. L'isolation est aussi bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de confort, d'économies financières et de protection de l'environnement.

La modélisation et la simulation numérique contribuent aux progrès visant à tendre systématiquement vers des bâtiments basse consommation ou à énergie positive et deviennent plus que jamais des outils indispensables dans toutes les phases de conception. Elles permettent de prévoir le comportement énergétique d'un bâtiment en vue d'optimiser les choix de construction.

Nous nous intéressons à l'étude de l'influence de la compacité sur l'évolution de la température et l'humidité en tenant compte le niveau d'isolation thermique. Nous voulons chercher la forme optimale de l'enveloppe en fonction de l'indice de confort Humidex.

2. MODEL DE CONDUCTION

L'exemple ci-dessous est fondamental pour les applications en énergétique des bâtiments. Dans la majorité des applications à l'habitat, les problèmes traitent les murs plans à frontières isothermes. En effectuant une analogie thermoélectrique, la méthode nodale conduit à la mise en place d'un réseau électrique complexe. On se base sur une autre approche simplifiée qui permet de représenter le système multicouche par un modèle proposé par Rumianowski et al. (1989) et repris par Con et al. (2003). Il est

souvent utilisé lorsque nous nous intéressons à la détermination de la température d'un nœud à l'intérieur d'un mur. La figure suivante est une illustration du principe de décomposition.

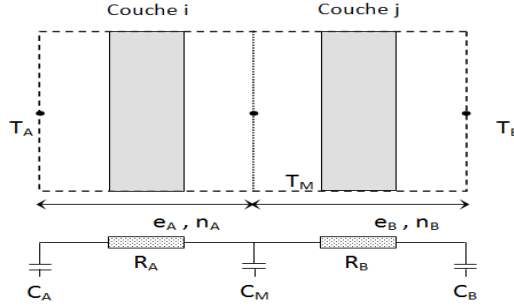


Fig. 1. Modèle de conduction

Les résistances équivalentes sont calculées par les formules suivantes :

$$n = n_A + n_B \quad (1)$$

$$R_A = \sum_{k=1}^{n_A} \frac{e_k}{\lambda_k S_k} \quad (2)$$

$$R_B = \sum_{k=n_A+1}^n \frac{e_k}{\lambda_k S_k} \quad (3)$$

Les capacités thermiques sont déterminées comme suit :

$$C_A = \sum_{k=1}^{n_A} \rho_i C_{p_i} e_i S_i (1 - \beta_i) \quad (4)$$

$$C_B = \sum_{j=n_A+1}^n \rho_j C_{p_j} e_j S_j \delta_j \quad (5)$$

$$C_M = \sum_{k=1}^{n_A} \rho_i C_{p_i} e_i S_i \beta_i + \sum_{j=n_A+1}^n \rho_j C_{p_j} e_j S_j (1 - \delta_j) \quad (6)$$

$$\beta_i = \frac{\frac{e_i}{2 \lambda_i S_i} + \sum_{k=i}^{i-1} \frac{e_k}{\lambda_k S_k}}{R_A} \quad (7)$$

$$\delta_j = \frac{\frac{e_j}{2 \lambda_j S_j} + \sum_{k=n_A+1}^{j-1} \frac{e_k}{\lambda_k S_k}}{R_B} \quad (8)$$

Le bilan énergétique du bâtiment pour les surfaces est représenté par les équations suivantes :

$$C_A \frac{dT_A}{dt} = \frac{T_M - T_A}{R_A} + \sum S F_{\text{Surf-i}} \sigma (T_i^4 - T_A^4) + S h_{\text{conv}} (T_{\text{air}} - T_A) \quad (9)$$

$$C_B \frac{dT_B}{dt} = \alpha S G + \frac{T_M - T_B}{R_B} + \varepsilon S \frac{1 - \cos \beta}{2} (T_{\text{Sol ext}}^4 - T_B^4) + \varepsilon S \frac{1 + \cos \beta}{2} (T_{\text{Ciel}}^4 - T_B^4) + S h_{\text{conv amb}} (T_{\text{amb}} - T_B) \quad (10)$$

$$C_M \frac{dT_M}{dt} = - \frac{T_M - T_A}{R_A} - \frac{T_M - T_B}{R_B} \quad (11)$$

Le bilan énergétique d'une zone de l'habitat représenté par un nœud qui est un modèle de bilan de l'air de la zone. Il est important de noter aussi que le transfert thermique à travers un mur n'est pas un problème lié uniquement au transfert conductifs et/ou radiatifs.

$$\rho_{\text{air}} C_{\text{air}} V_{\text{air}} \frac{dT_{\text{air}}}{dt} = Q_{\text{Gain}} + Q_{\text{Surf}} + Q_{\text{chauff}} + Q_{\text{refr}} + Q_{\text{Inf}} + Q_{\text{Vent}} \quad (12)$$

Les conditions aux limites du système comprennent les nœuds de la surface intérieure, y compris les flux d'énergie radiative. Nous notons également que l'énergie d'une couche active et l'énergie stockée dans les murs ne font pas partie de ce bilan énergétique, mais ils font partie du bilan détaillé de surfaces. L'énergie thermique due à l'échange entre l'air et les surfaces intérieures des murs est calculées par l'équation suivante :

$$Q_{\text{Surf}} = \sum S h_{\text{Conv}} (T_{\text{Surf}} - T_{\text{air}}) \quad (13)$$

Le modèle proposé repose sur les hypothèses suivantes :

- La voûte céleste est assimilée à un corps noir pour les radiations de grandes longueurs d'ondes.
- Les transferts thermiques à travers les parois sont supposés unidirectionnels, perpendiculairement à ces parois
- La convection est naturelle.
- La distribution de la température sur les parois est uniforme (principe de la méthode nodale).
- Les caractéristiques des matériaux sont constantes et indépendantes des conditions météorologiques.

TABLEAU I.
COEFFICIENTS DE TRANSFERTS CONVECTIFS

Description de la surface	Régime d'écoulement	Domaine de validité $R_a = Gr Pr$	Expression
Mur vertical	Laminaire	$10^4 < Gr Pr < 10^9$	$h_{\text{Conv}} = 1,42 (\Delta T / L)^{1/4}$
	Turbulent	$Gr Pr > 10^9$	$h_{\text{Conv}} = 1,31 (\Delta T / L)^{1/3}$
Surface supérieure d'une plaque chaude horizontale ou surface inférieure d'une plaque	Laminaire	$10^4 < Gr Pr < 10^9$	$h_{\text{Conv}} = 1,32 (\Delta T / L)^{1/4}$
	Turbulent	$Gr Pr > 10^9$	$h_{\text{Conv}} = 1,52 (\Delta T / L)^{1/3}$

froide			
Surface inférieure d'une plaque chaude ou surface supérieure d'une plaque froide	Laminaire	$10^4 < Gr \ Pr < 10^9$	$h_{Conv} = 0,59 (\Delta T / L)^{1/4}$
	Turbulent	$Gr \ Pr > 10^9$	

3. HUMIDITE RELATIVE

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air, que l'on définit comme la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné par rapport au maximum qu'il pourrait contenir à une température et une pression données. Nous utilisons la formule empirique de Nadeau et Puiggali, 1995. L'humidité spécifique peut être donnée en fonction de l'humidité relative par les relations suivantes :

$$H_s = \frac{0.622 \ P_{sat}(T) \ Hr}{101325 - P_{sat}(T) \ Hr} \quad (14)$$

$$P_{sat}(T) = e^{23.3265 - \frac{3802.7}{T} - \left[\frac{472.68}{T} \right]^2} \quad (15)$$

4. L'HUMIDEX

C'est un indice qui est élaboré à partir de la combinaison de l'humidité et de la température. L'Humidex permet d'évaluer l'intensité des conditions météorologiques supportées par les gens. Un indice Humidex de :

- Moins de 15, correspond à une sensation de fraîcheur ou de froid.
- De 15 à 19, Peu de gens sont incommodés.
- De 20 à 29, Sensation de bien-être.
- De 30 à 34, Sensation de malaise plus ou moins grande.
- De 35 à 39, Sensation de malaise assez grande. Prudence. Ralentir certaines activités en plein air.
- De 40 à 45, Sensation de malaise généralisée. Danger. Éviter les efforts.
- De 46 à 53, Danger extrême. Arrêt de travail dans de nombreux domaines.
- Au-dessus de 54, Coup de chaleur imminent (danger de mort).

La formule actuelle de l'indice Humidex a été développée au Canada en 1979 par J. M. Masterton et F. A. Richardson [9]. Son calcul est assez compliqué :

$$H = T + h \quad (16)$$

T : température relevée sous abri normalisé (°C)

$$h = 0.55(e - 10) \quad (17)$$

e : tension de vapeur saturante telle que

$$e = 6.11e^{(5417.7530((1/273.16)-(1/Tr)))} \quad (18)$$

Tr : température du point de rosée (°C)

Le point de rosée est une donnée thermodynamique caractérisant l'humidité dans un gaz.

Le point de rosée de l'air est la température à laquelle la pression partielle de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante. Il s'agit donc de la température à laquelle il faut refroidir un volume d'air, à pression et humidité constantes, pour qu'il devienne saturé.

Pour calculer la température Tr, nous utilisons la formule d'Heinrich Gustav Magnus-Tetens :

Domaine de validité :

- T, température mesurée : 0 °C < T < 60 °C
- Hr, humidité relative : 1 % < R_H < 100 %
- Tr, point de rosée : 0 °C < Tr < 50 °C

$$Tr = \frac{b \alpha(T, Hr)}{a - \alpha(T, Hr)} \quad (19)$$

Avec :

$$\alpha(T, Hr) = \frac{aT}{b+T} + \ln(Hr) \quad (20)$$

a = 17, 27 et b = 237, 7 (°C).

5. DESCRIPTION DE L'ESPACE BUREAU

L'étude s'est focalisée sur un espace bureau avec une surface habitable de 13.50 m² (4.5 x 3.0), dont la hauteur des murs est de 2.0m, les parois extérieures, est constituée d'une structure lourde en pierre ($\lambda=1.38 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $\rho=2000 \text{ kg m}^{-3}$, $C_p=1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) de 40 cm d'épaisseur, entourée de deux couches ayant respectivement une épaisseur de 1,5 cm de plâtre ($\lambda=0.56 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $\rho=1400 \text{ kg m}^{-3}$, $C_p=1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), 1 cm de ciment mortier ($\lambda=1.41 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $\rho=1800 \text{ kg m}^{-3}$, $C_p=1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) et un revêtement de finition intérieure.

6. DONNEES CLIMATIQUES ET METEOROLOGIQUES

Dans ce travail, on s'est intéressé à l'utilisation d'un modèle efficace pour l'estimation des éclairissements reçus sur les différentes surfaces des murs. A cet effet, nous avons utilisé le modèle de Perrin Brichambaut qui est généralement le plus favorable pour l'estimation de l'éclairement solaire

incident sur un capteur horizontal, même s'il ne présente qu'un peu d'avantage par rapport à celui de R.sun. Les figures (1-2) donnent un aperçu général sur l'évolution instantanée de l'éclairement solaire reçue par les murs opaques en contact avec l'air ambiant extérieur de l'habitat et ceci sous

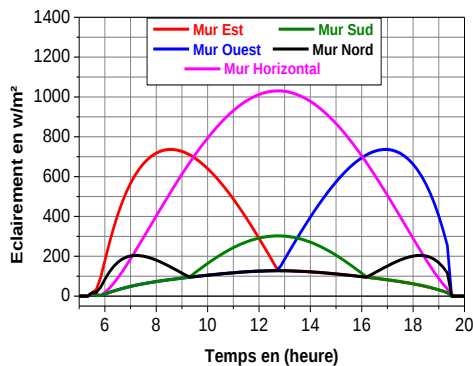


Fig.1. Eclairement solaire incident sur les murs extérieurs, Ghardaïa le 13/06/2015.

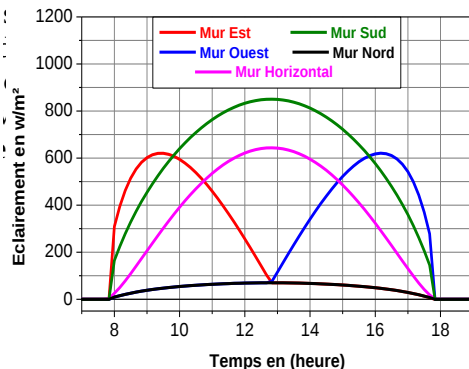


Fig.2. Eclairement solaire incident sur les murs extérieurs, Ghardaïa le 01/01/2015.

La température extérieure qui se décline en température d'environnement est parmi les principaux paramètres extérieurs qui varient et qui influent tant sur les températures des parois que sur les relevés des températures de l'air intérieur. Nous utilisons toujours les fonctions d'interpolation qui vont être intégrées dans le programme de simulation. A cet égard, nous avons choisi deux périodes de huit jours chacune correspondant au site de Ghardaïa; huit jours appartiennent à la période estivale de l'année 2015 et les autres font partie de la période hivernale de la même année. Les figures (3-4) décrivent le comportement de ces courbes.

On s'intéresse aussi à la vitesse du vent qui fait partie du bilan global de l'habitat. Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. Il est caractérisé par sa vitesse et sa direction. Les vents sont globalement provoqués par un réchauffement inégalement réparti à la surface de la planète provenant du rayonnement stellaire (énergie solaire), et par la rotation de la planète. Sur Terre, ce déplacement est essentiel à l'explication de tous les phénomènes météorologiques. Le vent fait le plus souvent référence aux mouvements de l'air dans l'atmosphère terrestre. Les figures (5-6) donnent une idée sur ce paramètre. D'après ces figures, on remarque que ce paramètre subit un comportement plus compliqué, il est parfois considérable et parfois faible. Le vent accélère l'échange thermique puisqu'il naît sous l'effet des différences de températures et de pression. C'est un flux d'air : l'air chaud et léger monte, l'air froid et lourd descend. Le mouvement de l'air, comme de la grande roue, est circulaire. C'est un mouvement perpétuel : l'air monte et descend, il se réchauffe et se refroidit.

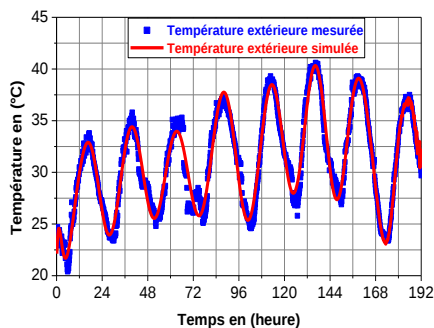


Fig.3. Température extérieure, du 06 au 13/06/2015.

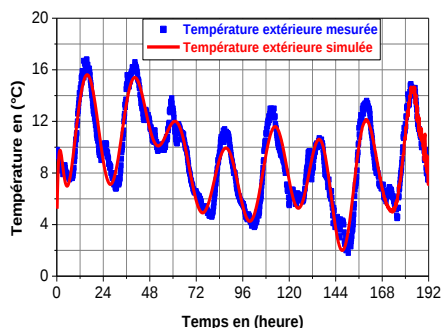


Fig.4. Température extérieure, du 27/12/2014 au 03/01/2015.

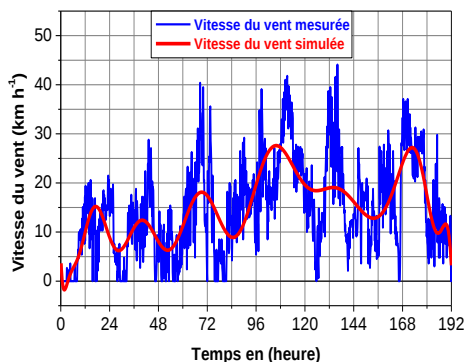


Fig.5. Vitesse du vent, le 06-13/06/2015.

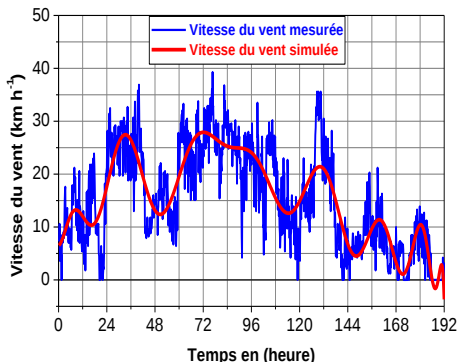


Fig.6. Vitesse du vent, du 27/12/2014 au 03/01/2015.

7. DISCUSSIONS ET CONFRONTATION DES RESULTATS

En raison du coût et des durées expérimentales, la modélisation-simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Cette modélisation nous permet de décrire l'évolution des températures intérieures et l'humidité en été et en hiver pour un teneur en eau de l'air constant. En conséquence, il est légitime de disposer des méthodes numériques permettant de calculer très rapidement ces grandeurs. La simulation ne peut donc être réalisée que si on dispose d'un acquis de connaissances suffisant. Les progrès des méthodes numériques, permettent, grâce à des simulations de plus en plus détaillées, de prédire le comportement de ces systèmes complexes. Conçu pour répondre à ces besoins, Runge-Kutta d'ordre 4 est une méthode numérique qui permet d'appréhender le comportement thermique des murs et de l'air soumis à des sollicitations variées. Les courbes tracées (7-8), représentent l'évolution de la température de l'air. L'espace thermique sera considéré en

évolution libre (sans occupants et sans charges internes influençant les paramètres thermiques).

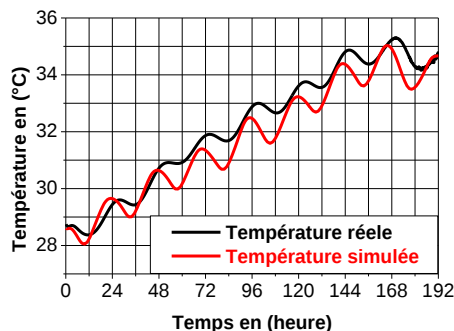


Fig.7. Température de l'air intérieur mesurée et simulée dans les bureaux période estivale.

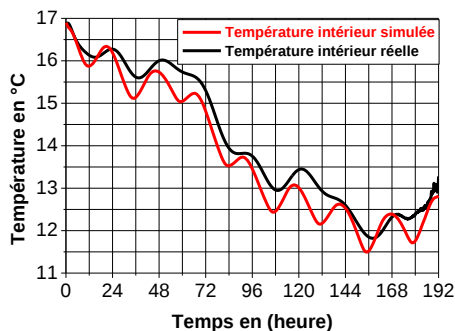


Fig.8. Température de l'air intérieur mesurée et simulée dans les bureaux période hivernale.

Les figures qui suivent (9-10) fournissent les profils des humidités obtenues par mesure et par simulation. Elles donnent un aperçu sur le comportement de l'air du bureau en absence d'un débit massique entrant et d'infiltration.

On peut déduire d'après ces résultats que l'humidité est inversement proportionnelle par rapport à la température pour un teneur en eau de l'air constant. Selon les figures, nous remarquons que les valeurs sont globalement proches aux valeurs réelles, particulièrement pour le période hivernale.

Les courbes représentées dans les figures (11-12) décrivent la variation de l'indice Humidex correspondant aux deux cas précédents.

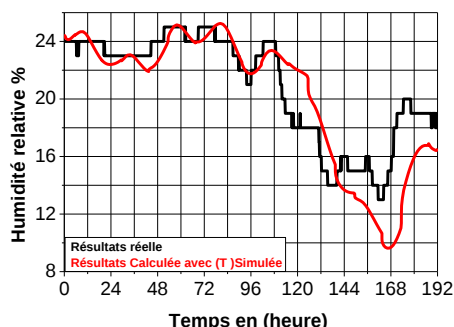


Fig.9. Humidité relative mesurée et simulée dans le bureau période estivale.

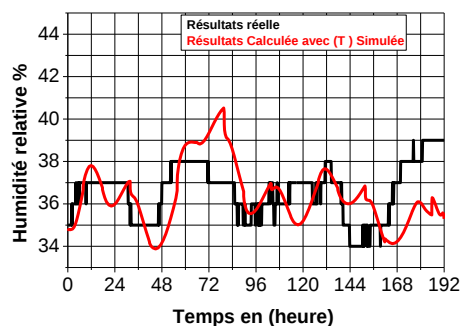


Fig.10. Humidité relative mesurée et simulée dans le bureau période hivernale.

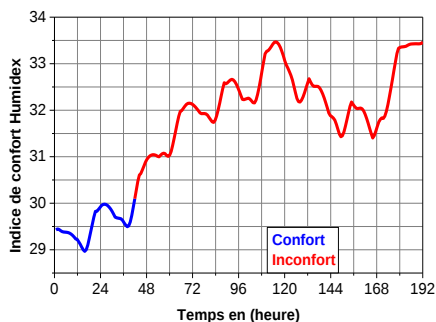


Fig.11. Humidex dans le bureau. Période estivale : 06-13/06/2015

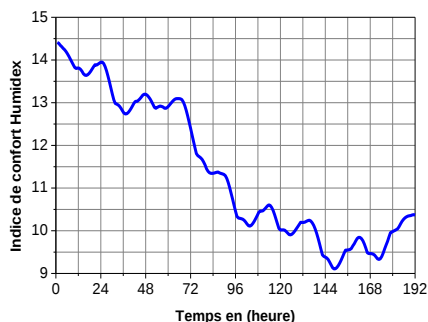


Figure.12. Humidex dans le bureau. Période hivernale : 26/12/2014-03/01/2015.

Selon les résultats obtenus, on remarque qu'un inconfort persiste durant la période estivale au cours du deuxième jour lorsque les valeurs de l'Humidex vont dépasser la valeur 30. Pour la période hivernale il y a une sensation de fraîcheur ou de froid lorsque les valeurs sont inférieures, l'indice Humidex sera proche de la température. L'ensemble des données mesurées s'est révélé globalement en bon accord avec les données simulées. Les résultats obtenus permettent de conclure que le modèle mathématique est assez bon pour prédire le comportement thermique effectif du bâtiment dans des conditions météorologiques réelles.

La section suivante est consacrée à l'étude de la variation de l'indice de Humidex de la pièce avec et sans isolation thermique pour deux situations climatiques distinctes. Par 8 cm de polystyrène, on pourra voir l'influence de l'isolation thermique sur l'évolution de l'indice de confort Humidex.

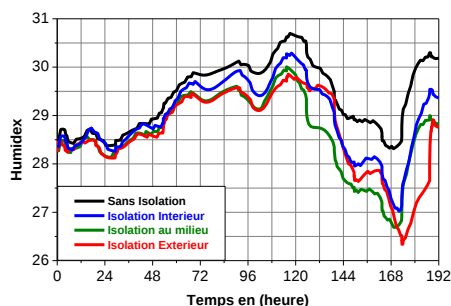


Fig.13. Humidex dans le bureau. Période estivale : 06-13/06/2015.

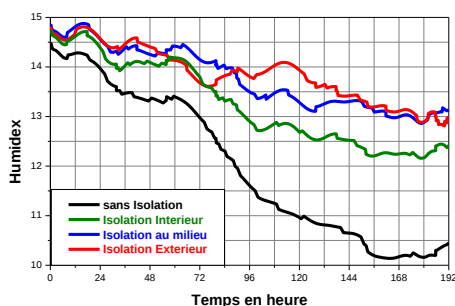


Figure.14. Humidex dans le bureau. Période hivernale : 26/12/2014-03/01/2015.

D'après les figures (13-14) On peut remarquer que l'isolation influe directement sur l'indice de confort Humidex. On observe certain inconfort durant les deux périodes. L'isolation par l'extérieure et au milieu présente un

avantage par rapport à celle de l'intérieure. L'Humidex est globalement inférieur à 30 et par conséquent, on peut garantir que l'isolation permet de maintenir le niveau de confort.

a) Par rapport à la forme géométrique

Plusieurs configurations (une de forme cubique et certaines correspondent à une forme parallélépipède) sont proposées tout en gardant un volume constant. Les dimensions seront données selon le tableau suivant :

TABLE III.

Dimensions des différentes configurations proposées de la zone thermique

Forme géométrique	Profondeur	Largeur	Longueur	Volume	Surface exposée	Indice de compacité Sp/V
Cube	3	3	3	27	45	1.66
Parallélépipède	2	3	4.5	27	43.5	1.61
	3	4.5	2	27	48	1.77
	4.5	2	3	27	51	1.88

Les figures (15-16) sont conformes à ces exemples qui permettent de montrer la variation des températures selon les différents cas proposés.

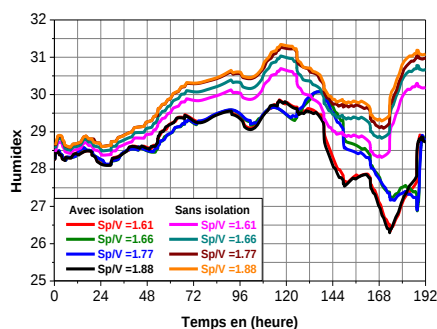


Fig.15. Humidex dans le bureau avec et sans isolation (volume constante).
Période estivale : 06-13/06/2015.

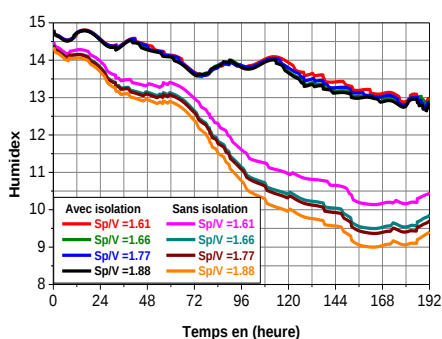


Figure.16. Humidex dans le bureau avec et sans isolation (volume constante).
Période hivernale : 26/12/2014-03/01/2015.

L'isolation thermique joue le rôle d'une barrière thermique puisque l'isolant va obstruer le flux de chaleur de pénétrer le mur. Les résultats obtenus d'après les figures (15-16) montrent que l'influence de la compacité du

bâtiment est plus élevée sans isolation par rapport au cas d'isolation et notamment dans la période hivernale.

b) Par rapport à l'agrandissement du design

L'objectif est de comparer la variation de la compacité par rapport à la taille à forme constante : pour une forme définie, une augmentation de la taille entraîne une augmentation de la compacité (une diminution de l'indice de compacité). Dans les figures (17-18), on désigne par Gr l'agrandissement de la surface des cloisons et des murs opaques pour n'importe quelle zone.

Ces résultats montrent que l'agrandissement est proportionnel par rapport à l'inertie thermique et surtout dans le cas sans isolation thermique, l'habitation bénéficie d'une importante inertie thermique. Elle joue à la fois un rôle de stockage et de régulation. En effet, plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement.

c) Par rapport au mode de contact

Pour une même composition de paroi et pour à la fois une forme constante et un volume constant, une variation de la compacité modifie considérablement le confort et par conséquent la demande d'énergie. Les pertes de chaleur par l'enveloppe auront diminué d'autant. Les figures (19-20) montrent et donnent une idée générale sur les profils des températures obtenues pour les cas suivants :

1. Cas ordinaire dont l'enveloppe est exposée au niveau du toit et au niveau de ses quatre façades : $Sp/V=1.32$.
2. Cas où l'enveloppe est exposée à tous niveaux à l'exception du toit $Sp/V = 1.04$.
3. Cas où les murs extérieurs sud, nord et ouest sont exposés aux conditions extérieures $Sp/V=0.83$.
4. Cas où uniquement les murs extérieurs sud et nord sont exposés aux conditions extérieures $Sp/V=0.63$.
5. Cas où uniquement le mur extérieur sud est exposé aux conditions extérieures $Sp/V=0.31$.

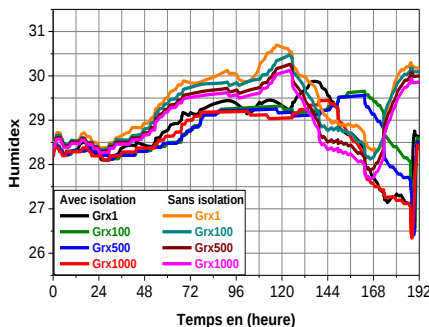


Fig.17. Humidex dans le bureau avec et sans isolation (forme constante). Période estivale : 06-13/06/2015.

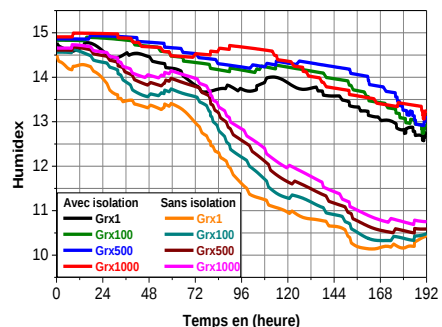


Figure.18. Humidex dans le bureau avec et sans isolation (forme constante). Période hivernale : 26/12/2014-03/01/2015.

Les valeurs de l'Humidex obtenues montrent que l'enveloppe caractérisée par un indice de compacité correspondant à une valeur de 0.31 est la plus favorable en termes de confort thermique en période estivale et/ou hivernale.

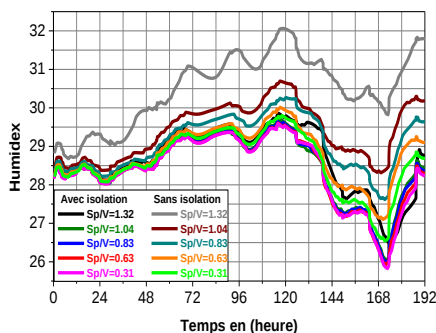


Fig.19. Humidex dans le bureau avec et sans isolation (Mode de contact). Période estivale : 06-13/06/2015.

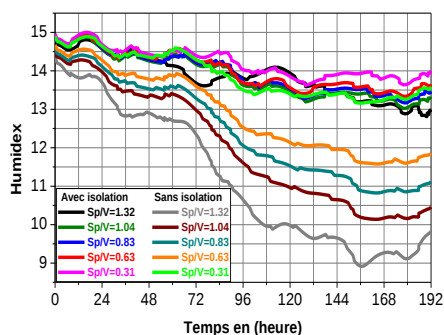


Figure.20. Humidex dans le bureau avec et sans isolation (Mode de contact). Période hivernale : 26/12/2014-03/01/2015.

8. CONCLUSION

Depuis quelques dizaines d'année, la maison a pris dans l'imaginaire collectif la forme de la villa 4 façades. Par la faible compacité de ce type de logement et la grande dispersion de l'habitat, les consommations d'énergie sont aussi plus importantes. Une approche de modélisation de bâtiments multizones en climat saharien a été introduite dans ce travail. La méthode nodale thermique a été utilisée pour appréhender le comportement thermique de l'air soumis à des sollicitations diverses. La prédiction de l'humidité et la température de l'air est un pas en avant dans le processus de simulation qui permet la compréhension du comportement du bâtiment, l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment et l'estimation des niveaux de confort à l'intérieur. Une architecture durable privilégiera donc la mitoyenneté et une relative densité de l'habitat. Celle-ci est tout à fait compatible avec la qualité architecturale et les résultats obtenus dans cet article qui s'accordent aussi avec la législation de nombreuses régions de différents pays. Par l'intermédiaire de ces techniques et résultats, on peut abaisser les niveaux d'isolation globale requis si la compacité du bâtiment est inférieure à un niveau de référence.

9. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

AGROBAT Incidence des toitures végétalisées sur la performance énergétique des bâtiments selon une approche pluridisciplinaire. Rafik BELARBI. Programme HABISOL édition 2009.

Application de quelques notions de la conception bioclimatique pour l'amélioration de la température interne d'un habitat. Thèse de doctorat en sciences physiques (P : 99) option : physique électronique et modélisation par Mr : Hadda Muhammad Abdalkhalq Chuayb.

d'Architecture, Le Chauffage Solaire Passif Comme Stratégie Bioclimatique, Université Laval, Esquisses, Le Bulletin d'Information de l'Ordre des Architectes du Québec 2004, Volume 15, Numéro 1.

C. A. Roulet, Énergétique du bâtiment I et II. Presses Polytechniques et Universitaires, Romandes, Lausanne, 1987.

Etude Théorique et Expérimentale de l'Isolation Thermique Intérieure d'une Pièce d'un Habitat dans la région de Ghardaïa Mémoire Présenté par Mr CHERIER Mohamed Kamel Pour obtenir le grade de MAGISTER Spécialité « Énergies Renouvelables ».

<http://www.meteo-mussidan.fr/hum.php>.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice_humidex

https://fr.wikipedia.org/wiki/Point_de_ros%C3%A9

Laurent MORA, Prédiction des performances thermo-aérauliques des bâtiments par association de modèles de différents niveaux de finesse au sein d'un environnement orienté objet, Thèse de doctorat en génie civil, université de la Rochelle UFR sciences fondamentales et sciences pour l'ingénieur, Septembre 2003.

P. Rumianowski, J. Brau, J.J Roux, An adapted model for simulation of the interaction between a wall and the building heating system. In Proceedings of the thermal performance of the exterior envelopes of buildings IV Conference Orlando, USA, p. 224-233, 1989.

S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. K. Cherier, M. Hamdani, R. M Yaiche, R. Khanniche (2013), Influence of building orientation on internal temperature in Saharan climates, building located in Ghardaïa region (Algeria), International Scientific Journal, Thermal Science, 2013, Vol. 17, N°. 2, pp. 349-364.

S. Thiers, Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 252 p, 2008.

10. NOMENCLATURE

e	: épaisseur (m)
n	: Nombre de nœud
α	: Coefficient d'absorption
ε	: Émissivité thermique
G	: Eclairement solaire incident sur les surfaces (W m^{-2})
S	: Surface (m^2)
λ	: Conductivité thermique ($\text{W K}^{-1} \text{m}^{-1}$)
Cp	: Chaleurs spécifique ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

ρ	:	Densité (kg m^{-3})
F	:	Facteur de forme entre les surfaces d'échange
σ	:	Constante de Stéphane-Boltzmann ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$)
V_{vent}	:	vitesse du vent (m s^{-1})
T	:	température (K)
ρ_{air}	:	densité de l'air (kg m^{-3})
C_{air}	:	la chaleur spécifique de l'air est supposée constante et estimée à $1008 \text{ (m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}, \text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1})$
V_{air}	:	volume d'air (m^3)
$Q_{\text{Chauffage}}$	:	La puissance thermique fournie par un appareil de chauffage (w), est égale à 0 lorsque le système est sans source d'énergie.
$Q_{\text{Rafraîchissement}}$	:	Puissance thermique fournie par l'équipement de refroidissement (w), est égale à 0 lorsque le système est sans source de refroidissement.
Q_{Inf}	:	Gain de puissance thermique due à l'infiltration de l'air (p).
Q_{Vent}	:	Gain de puissance thermique due à la ventilation de l'air (p).
Q_{Surf}	:	Puissance thermique due à l'échange entre l'air et les murs surfaces intérieures (i), les fenêtres (ii) et les portes (w).
Q_{Gain}	:	Gain d'énergie solaire directe grâce à des ouvertures (w), il est supposé que les ouvertures sont fermées, par conséquent, elle est égale à 0.
T_{int}	:	température de l'air à l'intérieur du bâtiment (K)
T_{ext}	:	température de l'air à l'extérieur du bâtiment (K)
T_{Surf}	:	température air- surfaces intérieures des murs (K)
h_{Conv}	:	coefficient de transfert convectif ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
Gr	:	nombre de Grashof
Pr	:	nombre de Prandtl
L	:	longueur de la plaque (m)
ΔT	:	différence de température entre les surfaces et l'échange de volumes (K)



Contribution à l'étude de la mésofaune dans le Parc National de Chréa

Esserhane Warda et Baha Mounia

Ecole normale supérieure de Kouba- Alger, Algérie

E.mail: warda.flowers@yahoo.fr; normalienne@yahoo.fr

Résumé-

Le présent travail concerne l'étude des peuplements de la mésofaune dans deux habitats forestiers *Cedrus atlantica* (Station I) et *Quercus canariensis* (Station II) au niveau du Parc National de Chréa (Algérie). Des deux stations ressortent 1921 individus regroupés dans cinq familles. Dans la station I, 899 individus recueillis représentés par 464 Acarida, il est suivi par un effectif égal à 380 des isotomidae. Par contre le nombre d'individus des Enchytreidae, Diplura et des Scutegelleidae est assez bas, égal à 23, 17 et 15 individus. Dans la station II, 1022 individus sont récoltés reproduits par un 899 acarien, suivis par les isotomidae avec 240 individus et par les Enchytreidae (36); en fin Diplura présente l'effectif le plus bas.

Mots clés : mésofaune, *Cedrus atlantica*, *Quercus canariensis*, sol et Parc National de Chréa.

Contribution to the study of the mesofauna in the Chréa National Park

Abstract-

This work concerns the study of mesofauna stands in two forest habitats *Cedrus atlantica* (Station I) and *Quercus canariensis* (Station II) at the Chréa National Park (Algeria). Of the two stations are 1921 individuals grouped into five families. In station I, 899 collected individuals represented by 464 Acarida, followed by isotomidae of 380. On the other hand the number of individuals of Enchytreidae, Diplura and Scutegelleidae is quite low, equal to 23, 17 and 15 individuals. In Station II, 1022 individuals are harvested by an 899 Acaricida, followed by isotomidae with 240 individuals and by Enchytreidae (36). At the end Diplura have the lowest staff.

Key words: mesofauna, *Cedrus atlantica*, *Quercus canariensis*, soil and Chréa National Park.

1- Introduction

Le Parc National de Chréa, par son relief, sa végétation, son climat méditerranéen et sa richesse incontestable en étendues hydrographiques, offre des conditions de vie terrestre très diverses où se rencontrent des biocénoses intéressantes par leur composition et leurs caractères écologiques. Cependant des brulis sans but ni contrôle ont amené à la destruction de larges surface et leur transformation, voir même stade ultime de dégradation du milieu.

Face au rythme alarmant qui tend vers la disparition de cet écosystème forestier et pour conserver ce patrimoine génétique, il est d'abord nécessaire d'inventorier les richesses naturelles de ce milieu et d'en explorer les processus écologiques de base.

Plusieurs travaux ont été entrepris dans ce but, En ce qui concerne la faune, plusieurs auteurs tels que Bazi (1988), Nedjahi (1988), Meftah (1988), Larid (1989), Attal-Bedredine (1995) et Mazari (1995) se sont intéressés aux divers groupes tels que les vertébrés et quelques arthropodes, tels que les fourmis, les myriapodes et les coléoptères.

Tandis que le peuplement des animaux du sol est encore mal connu. Pour atteindre ce but, nous avons contribué à la connaissance du système sol et le peuplement de la mésofaune.

La mésofaune du sol constitue l'essentiel de la biomasse et de la biodiversité animale présente dans le sol. Elle joue un rôle très important dans la formation de l'humus du sol. En effet, par son activité, cette faune disperse dans les couches profondes la matière organique morte présente en surface et ramène dans les couches superficielles leurs excréments contenant les produits de digestion de la litière (Bachelier, 1978). Cette dernière est constituée par une grande variété de groupe taxonomique d'invertébrés. (Bachelier, 1978).

La mésofaune (ou meiofaune) est constituée d'individus dont la taille est comprise entre 0,2 et 4 mm. Elle est représentée par les Collemboles, les Acariens, les Enchytréides (petits vers oligochètes), les petits Myriapodes (tels les Symphytes) et les plus petits Insectes et leurs larves (Lavelle et Spain, 2001).

2 -Matériel et méthodes

Notre étude a été réalisée dans le Parc National de Chréa, situé à une cinquantaine de kilomètres au Sud-Ouest de la capitale Alger, qui s'étend sur une superficie de 26,587 ha. Il est classé dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver doux.

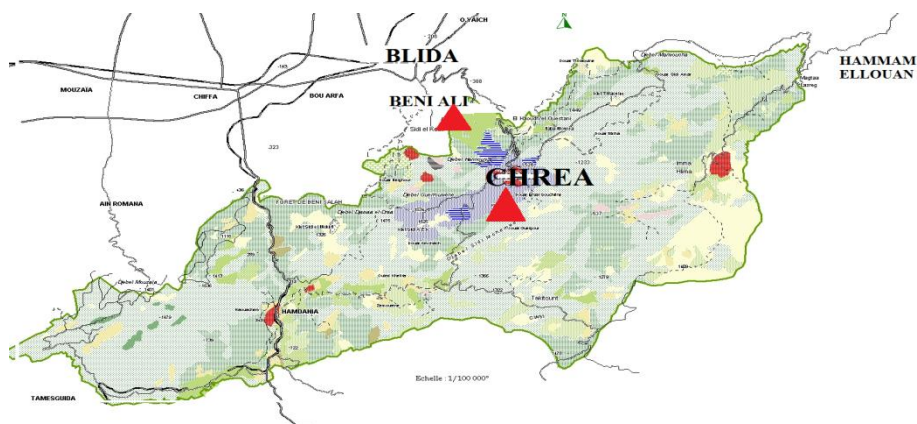


Fig.1 Localisation des stations d'étude dans le Parc National de Chréa.

La mésofaune a été échantillonnée pendant la saison humide de l'année (2014-2015); dans deux stations : la première est située dans le Col de Chréa; la deuxième dans Beni Ali (Figure 1). Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau 1. L'extraction est réalisée selon la méthode de Lavelle (1988) et Anderson et Ingram (1989) modifiée, qui consiste à isoler 5 monolithes le long d'un transect choisi au hasard. Les monolithes sont distants de 5 m et mesurant 10 cm x 30 cm. L'extraction de la mésofaune est faite par l'appareil de Berlèse. Les animaux sont conservés dans du formol à 4% pour la détermination taxonomique.

3- Résultats

Dans les deux stations explorées du Parc National de Chréa, 1921 Individus sont échantillonnés. Ce peuplement appartient à cinq familles : Enchytraeidae (Annélides), Scutigerellidae (Myriapodes), Acaridae (Acariens), Diplura (Insectes) et Isotomidae (Collemboles).

Tableau 1. Caractéristiques des stations d'échantillonnage

	Station I	Station II
Coordonnées	N 36�� 21.45. 1''	N 35��51 27 9
	E 002 00 13. 1	E 002 00 08��2
Altitude	1629 m	1230 m
Pente	0,10%	0,60%
Type du sol	Argilo-sableux	Argilo-sableux
Végétation	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Quercus canariensis</i>

	âge moyen	125 ans	100 ans
	densité	80%	60%
Granulométrie	Argile (g)	0,12	0,12
	A+L (g)	0,18	0,12
	Sable fin (g)	0,57	4,08
	Sable grossier (g)	0,01	2,1
Matières Organiques (%)	M O	20,46	9,75
	Mg ²⁺	13	4,33
Minéralisation	Ca ²⁺	35,5	28,6
	CaCO ₃	89,2	71,4
	CaO	50	40
Nitrites (En mg/kg de sol)	N O ₃ ⁻	5,75	6,9
	NO ₂ ⁻	0,03	0,009
Ammonium (En mg/kg de sol)	NH ₄ ⁺	0,039	0,078
Phosphore assimilable (En mg/kg de sol)	P ₂ O ₅	4	5
Azote assimilable (En mg/kg de sol)	N	5,819	6,987
pH sol-KCl (1-2.5)	pH	7,08	7,33
Humidité (%)		7.7	27

3.1. Listes et fréquences centésimales des familles recueillies dans la station I

Les familles dont les représentants sont piégées dans l'appareil de Berlèse, ainsi que leurs effectifs et leurs fréquences centésimales sont signalées dans le tableau 2.

Tableau 2. – Effectifs et fréquences (A.R. %) des familles dans la Station I

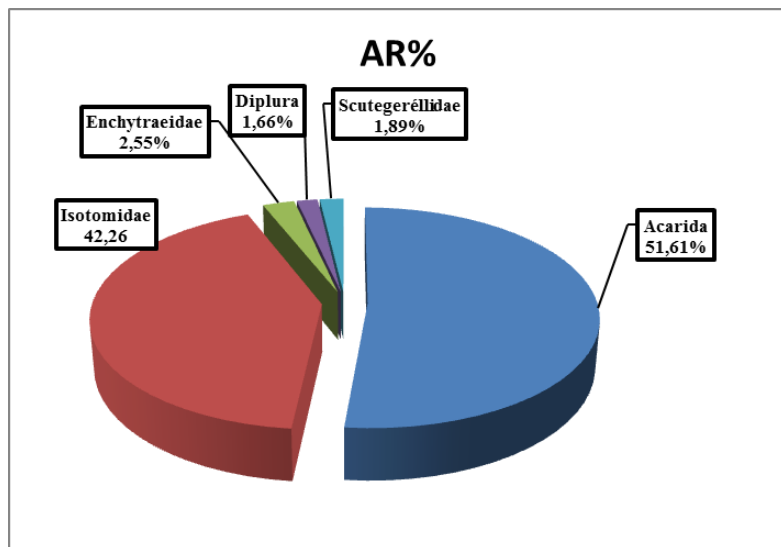
	Effectifs	
	Ni	AR%
Acarida	464	51,61
Isotomidae	380	42,26
Enchytreidae	23	2,55
Diplura	15	1,66
Scutigerellidae	17	1,89
Total	899	100

AR% : Abondance relative

Dans la première station 899 individus sont recueillis sont répartis entre 5 familles. Le nombre d'individus le plus élevé est celui des acaridés notés avec 464 individus où l'abondance relative est égale 51,61% (Tab. 02). Il est suivi par un effectif égal à 380 individus de collembolés avec une abondance relative égale 42,26%. Par contre le nombre d'individus des Enchytreidae, des Scutigerellidae et des Diplura est assez bas, égal à 23, 17 et 15 avec une abondance relative égale à 2,55%, 1,89% et en fin 1,66 (Fig. 02).

3.2. Listes et fréquences centésimales des familles recueillies dans la station II

Les familles représentants de la station II, ainsi que leurs effectifs et leurs fréquences centésimales sont signalées dans le tableau3.

**Fig.2** Fréquence des Familles de la mésofaune dans la Station I.

Le nombre d'individus le plus élevé est celui des acariens avec 696 individus et une abondance relative de 10,8%. Suivi par les collemboles avec 240 individus dont l'abondance relative est égale à 23,48%; et par Enchytraeides avec 36 individus et une abondance relative égale à 3,52 %. Les Diplouress se présentent avec 29 individus où l'abondance relative égale à 2,38%. Cependant les Myriapodes présentent l'effectif le plus bas de 21 individus avec une abondance relative égale à 0,05% (Fig. 3).

Tableau 3. Effectifs et fréquences (A.R. %) des familles dans la Station II

	Effectifs	
	Ni	AR%
Acarida	696	70,8
Isotomidae	240	23,48
Enchytraeidae	36	3,52
Diplura	29	2,83
Scutigerellidae	21	2,05
Total	1022	100

Dans la station II, 1022 individus sont recueillis au cours de la période 2013- 2014 (Tableau 3).

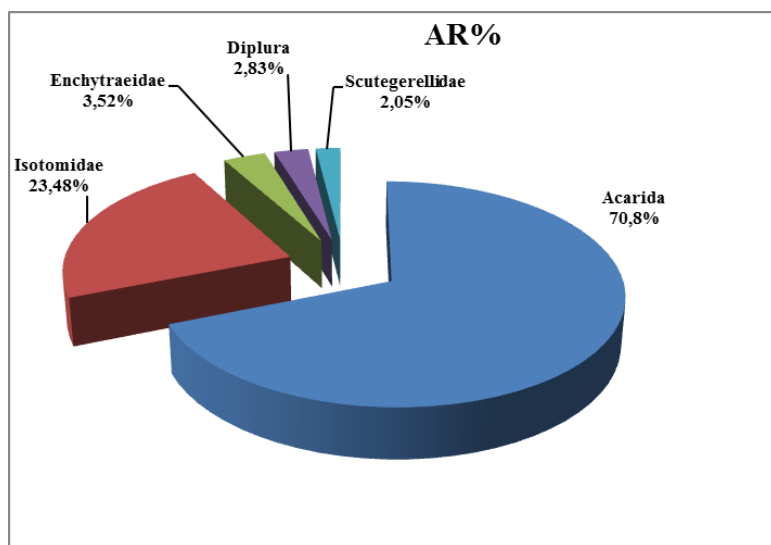


Fig.3 Fréquence des Familles de la mésafaune dans la Station II.

3.3 Composition du peuplement mésofaunique dans les deux stations

Sur l'ensemble des deux stations d'étude. Le nombre total de spécimens est sensiblement équivalent sur les deux sites. Certains taxons (Enchytraeides et Diploures) sont abondants dans la Station II et un peu moins dans la première station, à l'inverse (les Scutigerellidae) sont plus faibles dans les deux stations. Dans les deux sites les taxons dominants sont les Acariens et les Collembolés (Fig. 4).

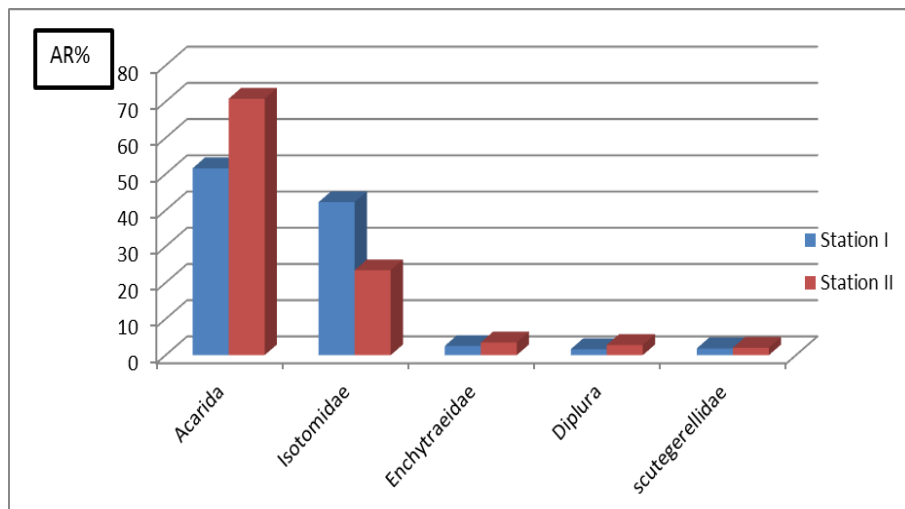


Figure. 4 : Présentation graphique de la Fréquence de la mésofaune dans les deux stations d'échantillonnage.

4- Discussion

La faune du sol « libre » des deux stations est dominée en nombre par les Acariens. Cette valeur est due probablement aux conditions climatiques de la période de prélèvement (saison humide). En effet, Trave (1964), montre que les acariens diminuent en période estivale et augmente dès l'apparition des premières pluies dans les régions de la Méditerranée ou dans les pays chauds. Selon Athias et Cancela (1976), Wauthy et Lebrun (1980), Wauthy (1981), Noti *et al.* (2003), Ducarme *et al.* (2004), Honciuc et Manu (2010), et Illig *et al.* (2010), la présence des acariens dépend de la structure du sol, de la présence de la matière organique, du type de l'humus et d'autres facteurs abiotiques tels que la température, l'humidité et le pH. Leur diminution dans la station I est due à la diminution de l'humidité dans le sol. De ce fait les acariens du sol s'enfoncent en profondeur à la recherche de

l'humidité. Ces géobiontes fragmentent et consomment la matière organique, ce qui révèle sa réduction dans la Station II.

Les collemboles après les acariens ce sont les arthropodes les plus nombreux dans ces stations. Ces animaux sont généralement très hygrophiles, surtout ceux qui vivent dans le sol; chaque espèce de Collembole a son humidité préférentielle (Kuhnelt, 1961). On note que dans ce travail, une diminution de ce groupe dans la station II où l'humidité est élevée, ce qui infirme qu'il y a une forte fréquence de espèces qui fuient l'humidité. Bachelier (1978) note que les sols sous forêts de conifères renferment généralement moins de Collemboles, ce qui coïncide avec nos résultats.

Notons que les Enchytréides tendent à diminuer dans la deuxième station qui est caractérisée par une faible humidité. Selon Nielsen (1955) une sécheresse de quelques semaines peut tuer ces animaux. Dans le même sens Dash et Cragg (1972) ont trouvé une bonne corrélation entre, d'une part, la densité des Enchytréides et, d'autre part, l'humidité dans des sols. D'après Bachelier (1978) la densité des Enchytréides varie essentiellement en fonction de la qualité des débris végétaux sous forêt; on note que dans notre cas ce groupe d'animaux semble préférer les feuilles de *Quercus canariensis* (arbres dominants dans la Station II).

Les Diploures sont carnivores, se nourrissent de Collemboles et d'Acariens (Fox, 1957); préfèrent l'humidité d'où leur forte présence dans la station II.

Les Scutigerellidae ces petites créatures cosmopolites de quelques millimètres qui se retrouvent plus abondants dans la station à forte humidité; a été déjà observé par Waterhouse en 1968. Ce sont des phytophages qui s'attaquent aux racines succulentes (Bauwt et Bieknaux, 1967), mais ils se nourrissent aussi de champignons et de bactéries.

4. Conclusion

Dans les deux stations explorées du Parc National de Chréa, 1921 Individus de la mésofaune sont échantillonnés. Ce peuplement appartient à cinq familles : Enchytraeidae, Scutigerellidae, Acaridae, Diplura et Isotomidae. Il y a dominance des Acariens et collemboles dans les deux Stations et les autres peuplements sont peu moins abondants. Cette répartition est affectée par le climat de la région, la

végétation et les facteurs physicochimiques du sol tels que la matière organique et l'humidité.

5. Références bibliographiques

- ANDERSON M. et INGRAM J.S., 1989. - Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods. Oxon: Commonwealth Agricultural Bureau.
- ATHIAS-HENRIOT C. et CANCELA DA FONSECA J.P., 1976 - Microarthropodes édaphiques de La Tillaie (Forêt de Fontainebleau). Composition et distribution spatio-temporelle d'un peuplement en placette à litière de hêtre pure (Acariens et Collembolés). Rev. Ecol. Bol. Sol, 13, 2, 3, 15-329.
- ATTAL B., 1995 - Contribution à l'étude de l'entomofaune du Chêne vert (*Quercus ilex* L.) dans le parc national de Chréa. Thèse Magister, Int. nati. agro., El Harrach, 250 p.
- BACHELIER, G. 1978. *La faune du sol, son écologie et son action*. Ed. Organisation Recherche Scientifique et Technique Outremer (O.R.S.T.O.M), Paris, 391 p.
- BAUWT R. et BIEKNAUX J., 1967 - *Scutigerella immaculata* Newport. Rflexions sur la Biologie et les moyens de lutte. Bull. Rech. &on. Gembloux (Belgique), II, 2, 215-226.
- DASH M.C. et CRAGG J.B., 1972 - Ecology of Enchytraeidae (Oligochaeta) in Canadian Rocky Mountain Soils. *Pedobiologia*, 12, 5, 323-335.
- DUCARME X., ANDRÉ HM., WAUTHY G. and LEBRUN P., 2004 - Comparison of endogeic and cave communities: microarthropod density and mite species richness. *Eur. J. Soil Biol.*, 40 : 129 – 138.
- FEKKOUN, S. ET GHEZALI, D.J. 2007. *L'évolution de l'acarofaune du sol de la région de Boufarik*. Journées internationales Zool. Agri. For., 8 - 10 avril 2007, Dép. Zool.Agro. For., Inst. Nati. Agro., El Harrach, p. 189.
- FOX 1., 1957- The insect family Japygidae (order Thysanura) in Puerto Rico. *J. Agpic. Univ. Puerto- Rico*, 41, 35-37.
- GHAZALI D., 2012 - systématique et bioécologie des acariens du sol (*acarioribattida*) en Algerie. These Doctorat, Inst. Nati. Agro. El Harrach, 135p.
- HALIMI A., 1980- l'atlas Blidéen-climat et étages végétaux. Ed. Office des publications nationales, Alger, 523p.
- HONCIUC V. and MANU M., 2010 - Ecological study on the edaphic mites populations (Acari: Mesostigmata-Gamasina; Oribatida) in urban areas from Romania. *Rom. J. Biol. – Zool.*, Vol. 55, (1) : 3 – 17.
- ILLIG J., NORTON R. A., SCHEU S. and MARAUN M., 2010 - Density and community structure of soil- and bark-dwelling microarthropods along an altitudinal gradient in a tropical montane rainforest. *Exp. Appl. Acarol.* 52 (1) : 49 – 62.

- KUHNELT W., 1961 - *Soil Biology*. Faber & Faber éd. (Lond.), 397 p.
- LARID D., 1989 - *Comparaison faunistique de quelques stations du parc national de Chr  a*. Thèse Ingénieur, Inst. nati. agro., El Harrach, 188 p
- LAVELLE P., 1988. - Assessing the abundance and role of invertebrate communities in tropical soils: aims and methods. *Journal of African Zoology* 102: 275-283.
- LAVELLE P. & SPAIN A. V., 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Scientific Publications, Amsterdam.
- LAVELLE P., DECA  NS T., AUBERT M., BAROT S., BLOUIN M., BUREAU F., MARGERIE P., MORA P. et J.-P. R., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. 42 S3-S15.
- LEGAKIS A., 1994. Community structure and species richness in the Mediterranean-type soil fauna. M. Arianoutsou and R.H. Groves, Plant-animal interactions in Mediterranean-type ecosystems. Chapter 4 Pages 37-45. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Page 38.
- LINCOLN R., ROSSHALL G., CLARK P.F., 1982- in Wikram M. (1986) : Soil inhabiting arthropods as indicators of Environmental Quality *Acta biologica Hungarica* 37(1), pp. 73-84.
- MAZARI G., 1995 - *Etude faunistique de quelques stations du parc national de Chr  a*. Thèse Magister sci. agro., Inst. nati. agro., El Harrach, 165 p.
- NIELSEN C.O., 1955b - Studies on Enchytraeidae. V - Factors causing seasonal fluctuations in numbers. *Oikos*, 6, 153-169.
- NOTI M.I., ANDRE   H.M., DUCARME X. and LEBRUN P., 2003 - Diversity of soil oribatid mites (Acari: Oribatida) from High Katanga (Democratic Republic of Congo): a multiscale and multifactor approach. *Biodivers Conserv* (12) : 767 – 785.
- VANNIER G., (1971)- Technique d  tude des populations de microarthropodes du sol. II- exemple d  tude écologique : les microarthropodes et 1 Btat hydrique du sol. In *KLOViedans les sols*, Gauthier Villars id. (Paris), 83-109 et 111-146.
- WATERHOUSE J.S., 1968 - Studies on the garden Symphylan, *Scutigerella immaculata*, Symphyla : Scutigerellidae. *Canad. Er2t.*, 100, 172-178.
- WAUTHY G. and LEBRUN P., 1980 – Synecology of forest soil oribatid mites of Belgium. I. The zoological classes. *Soil biology as related to land use practices*, pp. 795 - 805.
- WAUTHY G., 1981 - Synecology of forest soil oribatid mites of Belgium (Acari, Oribatida) II. - Zoosociological uniformity. *Acta Oecologica, Oecol. Gener*, 2 : 31 – 47.



Etude thermodynamique d'une installation de réfrigération solaire à absorption fonctionnant avec des températures moyennes

Thermodynamic study of an absorption solar refrigeration system operating at medium temperatures

Mohammed Benramdane¹, Said Abboudi² et Mea Ghernaout¹

1- Laboratoire ETAP, Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie.

2- Laboratoire de M3M, UTBM, Site de Sevenans, 90010 Belfort Cedex, France.

E.mail: benramdane2006@yahoo.fr

Résumé

La recherche de meilleures conditions de vie et de confort a conduit l'homme à une intensification de consommation de l'énergie sous ses différentes formes. Cette tendance a engendré des effets néfastes pour la planète tels que la pollution de l'atmosphère, l'effet de serre, la désertification, la fonte des glaciers, la perforation de la couche d'ozone, etc...

Dans ce contexte, l'énergie solaire peut être un recours très important. En effet, cette énergie calorifique à température modérée est disponible un peu partout sous une forme intermittente, et particulièrement en Algérie où elle constitue une source inépuisable. Cependant la production de froid à partir de cette énergie est envisageable pour notre pays. Parmi les divers systèmes utilisés pour cela, la machine à absorption semble être une voie très prometteuse.

L'objectif du travail proposé consiste à rechercher les performances d'un tel système en prenant en compte les facteurs qui vont influencer le régime de fonctionnement d'une installation de production du froid et de proposer d'éventuelles améliorations. Cette amélioration du coefficient de performance « COP » est basée sur des modifications géométriques sur l'installation à absorption elle-même (augmentation de nombre des Bouilleurs et le nombre des Absorbeurs) qui donne la possibilité de fonctionnement avec des simples panneaux solaires moins cher et élimination de la colonne de rectification ce qui réduit le cout global de l'installation.

Mots clés : Machines frigorifiques, Absorption, Réfrigération, Solaire, Amélioration, COP, Couple binaire ammoniac-eau.

Abstract-

The search for better living conditions and comfort has led humans to intensify consumption of energy in its various forms. This trend has led to adverse effects on the planet, such as atmospheric pollution, the greenhouse effect, desertification, melting glaciers, ozone layer perforation, etc.

In this context, solar energy can be a very important resource. Indeed, this calorific energy at moderate temperature is available almost everywhere in an intermittent form, and particularly in Algeria where it constitutes an inexhaustible source. However, the production of cold from this energy is conceivable for our country. Among the various systems used for this, the absorption machine seems to be a very promising route.

The objective of the proposed work is to investigate the performance of such a system by taking into account the factors that will influence the operating regime of a refrigeration plant and to propose any improvements. This improvement in the "COP" performance coefficient is based on geometrical modifications on the absorption system itself (increase in number of boilers and number of absorbers) which gives the possibility of operation with simple solar panels cheaper and Eliminating the stripping column which reduces the overall cost of the installation.

Key words : Refrigeration machines, Absorption, Refrigeration, Solar, Improvement, COP, Ammonia-water binary torque.

I. Introduction

L'équipement frigorifique fait aujourd'hui partie de la vie quotidienne, de par ses nombreuses applications qui vont de la conservation des produits alimentaires, pharmaceutiques et autres à la climatisation et congélation.

L'idée de produire du froid à l'aide de systèmes à absorption est née durant les années 1859-1860 grâce à Ferdinand Carré qui a déposé le brevet de la première machine frigorifique à absorption fonctionnant avec le couple ammoniac (frigorigène), eau (absorbant) [1, 2]. En utilisant la découverte de Joseph Priestley qui avait constaté en 1784 la grande affinité de ces deux fluides l'un pour l'autre. Le brevet de Carré prévoyait deux types de machines pour la production de la glace: une à faible puissance et à fonctionnement intermittent et une autre plus puissante à cycle continu [2].

Sur le plan de la conversion énergétique, les recherches actuelles sont orientées vers le développement des machines à absorption solaire en vue d'améliorer leur efficacité.

L'étude et la conception de telles machines connaissent une évolution continue. Plusieurs approches ont été proposées [3-8] pour aborder le problème de la conception basée sur l'optimisation.

II. Machine à absorption

La méthode de réfrigération par absorption utilise un cycle purement thermique qui repose sur des différences d'affinités entre deux corps, suivant leurs conditions thermodynamiques: pression, température, concentration. Pour que l'affinité puisse se manifester et être exploitée, il est nécessaire que l'un des deux corps au moins ne soit pas gazeux, et qu'ils ne soient pas tous deux solides.

Les machines frigorifiques à absorption liquide sont des machines trithermes. Elles fonctionnent donc grâce à trois niveaux de températures T_F , T_M et T_A (vérifiant $T_F < T_M < T_A$). Elles produisent du froid uniquement à partir d'un apport de chaleur à la température T_A , c'est-à-dire sans échange de travail avec l'extérieur. Les deux températures T_M et T_F imposent respectivement deux niveaux de pression :

- P_h : la Haute Pression au niveau du condenseur et du générateur,
- P_b : la Basse Pression au niveau de l'évaporateur et de l'absorbeur.

Les machines frigorifiques à absorption liquide fonctionnent grâce à la faculté de certains liquides d'absorber (réaction exothermique) et de désorber (réaction endothermique) une vapeur.

Elles utilisent également le fait que la solubilité de cette vapeur dans le liquide dépend de la température et de la pression. Ainsi, ces machines utilisent comme fluide de travail un mélange binaire, dont l'un des composants est beaucoup plus volatil que l'autre et constitue le fluide frigorigène. Les couples les plus utilisés sont l'Ammoniac + Eau ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$, où l'ammoniac est le fluide frigorigène), et l'Eau+Bromure de Lithium ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$, l'eau étant le fluide frigorigène). Le premier permet de faire du froid négatif pour des besoins de climatisation ou de froid industriel alors que le second ne peut faire que du froid positif (point triple à 0°C) donc il est exclusivement destiné au rafraîchissement de bâtiment. Il existe d'autres solutions comme $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ [9], [10], $\text{LiBr}/\text{HO}(\text{CH}_2)\text{OH}$ et bien d'autres [11-15] mais leur emploi reste encore du domaine de la recherche et du développement ou entraîne de moins bonnes performances que les deux solutions les plus courantes.

L'absorption est l'affinité entre deux fluides (liquide -liquide ou liquide - vapeur).

Le fluide de travail du système est une solution contenant un fluide de réfrigération (un réfrigérant) et un absorbant, qui ont l'un pour l'autre une forte affinité (figure. 1).

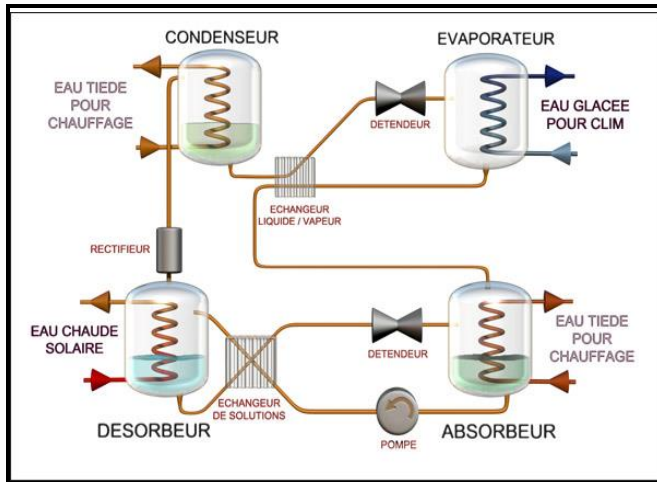


Fig. 1. Schéma d'une installation à Absorption.

III. Installation à absorption modifiée

Dont le but de l'amélioration du COP d'une installation à absorption, on a fait des modifications géométriques sur l'installation elle-même. Notre approche consiste à augmenter le nombre de bouilleurs sur les installations de réfrigération solaire à absorption et voir leurs influences sur l'amélioration de l'installation.

L'utilisation de trois niveaux de température permet de produire du froid à partir de chaleur uniquement [16].

La figure 2 représente le modèle équivalent d'un cycle de réfrigération par absorption solaire. Il est composé de trois générateurs de vapeur (Bouilleurs), d'un condenseur, deux absorbeurs et d'un évaporateur. Trois thermostats forment l'environnement extérieur du cycle : la source chaude formée par des simples panneaux solaires plans (les convertisseurs solaires thermiques), le puits intermédiaire et la source froide.

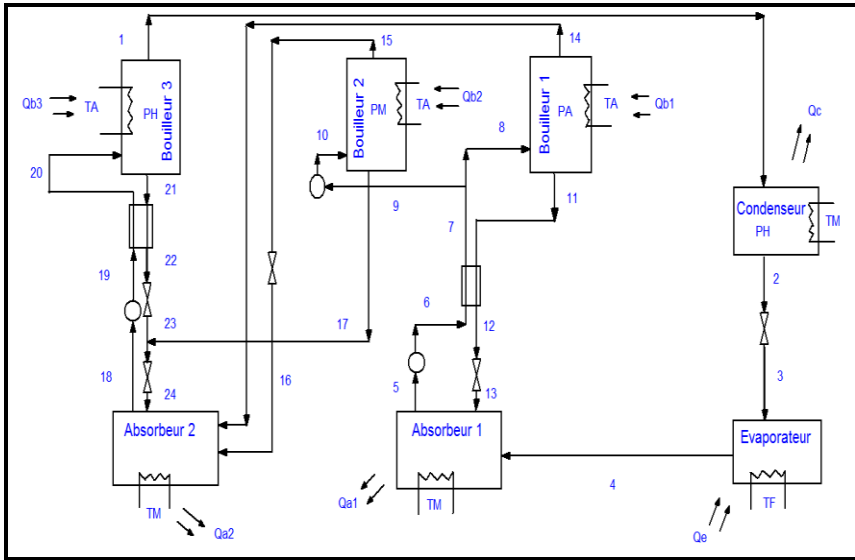


Fig. 2. Schéma d'une installation de réfrigération solaire à absorption fonctionnant avec trois bouilleurs.

IV. Etude thermodynamique de l'installation modifiée

Bilans massique et énergétique

Pour déterminer le bilan thermique d'un composant, il est nécessaire de connaître avec précision les enthalpies des fluides de travail à l'état liquide et gazeux en fonction de la température et de la concentration.

Il existe deux méthodes pour le calcul des différents paramètres des équations des bilans sont :

- La méthode qui base sur les diagrammes de Merkel et d'Oldham ou bien celui de Mollier dans le cas où il y aura un frigorigène pur ($x = 1$).
 - La méthode des équations mathématiques.
- Le choix de la pression de travail varie d'un couple binaire à un autre.

Pour le fonctionnement de notre installation on a utilisé le couple binaire $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$.

- L'intervalle de pression de fonctionnement doit être bien choisit pour qu'il sera compatible.
- Dans notre cas l'intervalle de pression choisit varie entre 2 bars et 26 bars.

La connaissance des caractéristiques climatiques et géographiques de la région où se trouve notre installation est un facteur très important de l'étude. Ces éléments sont variables, mais on peut estimer une moyenne mensuelle [17].

Pour Le bilan d'énergie de l'installation frigorifique à absorption s'établit comme suit :

$$Q_{\text{évap}} + Q_b + W_p = Q_{\text{abs}} + Q_{\text{cond}} \quad (1)$$

C'est-à-dire la somme des puissances thermiques représentant l'énergie totale absorbée (fournie à la machine frigorifique) est égale à la somme des puissances thermiques évacuées,

Pour chaque point de l'installation, on doit étudier chaque élément séparément.

Pour faire fonctionner l'installation de réfrigération à absorption, on doit avoir une séparation du couple binaire NH_3 de H_2O par évaporation.

Vu la complexité des équations mathématiques, on impose des températures et des pressions comme données.

D'une façon générale, pour les bilans de masses dans une installation solaire fonctionnant avec un couple binaire, on part d'un principe fondamental appliqué dans les différents éléments : le bouilleur et l'absorbeur:

$$\dot{m}_{\text{totale}} = \dot{m}_{\text{pauvre}} + \dot{m}_{\text{riche}} \quad (2)$$

Le système est donc composé de $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$ masse en débit de fluide absorbeur et $\dot{m}_{\text{NH}_3}$ la masse en débit de fluide frigorigène. Ainsi la masse totale en débit du mélange binaire sera:

$$\dot{m}_s = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} + \dot{m}_{\text{NH}_3} \quad (3)$$

Le titre de la solution exprime le rapport entre la masse en débit de soluté (le fluide frigorigène) et la masse en débit de la solution, que celle-ci soit liquide ou gaz :

$$X = \frac{\dot{m}_{\text{NH}_3}}{\dot{m}_s} \quad (4)$$

Et donc la masse en débit de fluide frigorigène dans une solution est égale à la masse totale des débits de solution multipliée par le titre.

Parmi les modèles qui existent, nous avons choisi celui proposé par M. Feidt [18] qui combine la méthode de l'énergie libre de Gibbs pour les propriétés thermiques et les équations qui calculent le point de bulle et le point de rosée du mélange. Cette méthode combine les avantages des deux et évite le besoin de faire des itérations afin d'avoir les conditions d'équilibre de phases.

V. Détermination du coefficient de performance " COP"

Le coefficient de performance est le rapport de la puissance énergétique de l'évaporateur sur les puissances énergétiques des bouilleurs :

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_{b1} + \dot{Q}_{b2} + \dot{Q}_{b3}} \quad (5)$$

$$COP = \frac{h_4 - h_3}{Ah_{11} + Bh_{14} - \frac{1}{2}Ch_8 + \frac{1}{2}Dh_{15} + \frac{1}{2}Eh_{17} - \frac{1}{2}h_{10} + h_1 + Fh_{21} - Gh_{20}} \quad (6)$$

Avec

$$A = \left(\frac{x_5 - x_4}{x_{13} - x_5} \right)$$

$$B = \left(\frac{x_5 - x_4}{x_{13} - x_5} \right) \left(\frac{x_{11} - x_8}{x_8 - x_{14}} \right)$$

$$C = \left(\frac{x_5 - x_4}{x_{13} - x_5} \right) \left(\frac{x_4 - x_{13}}{x_4 - x_5} \right)$$

$$D = \left(\frac{x_5 - x_4}{x_{13} - x_5} \right) \left(\frac{x_4 - x_{13}}{x_4 - x_5} \right) \left(\frac{x_{17} - x_{10}}{x_{17} - x_{15}} \right)$$

$$E = \left(\frac{x_5 - x_4}{x_{13} - x_5} \right) \left(\frac{x_4 - x_{13}}{x_4 - x_5} \right) \left(\frac{x_{17} - x_{10}}{x_{17} - x_{15}} \right) \left(\frac{x_{10} - x_{15}}{x_{17} - x_{10}} \right)$$

$$F = \left(\frac{x_{20} - x_1}{x_{21} - x_{20}} \right)$$

$$G = 1 + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{x_5 - x_4}{x_{13} - x_5} \right) \left(\frac{x_4 - x_{13}}{x_4 - x_5} \right) \left(\frac{x_{17} - x_{10}}{x_{17} - x_{15}} \right) \right] +$$

$$\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x_{17} - x_{10}}{x_{17} - x_{15}} \right) \left(\frac{x_{10} - x_{15}}{x_{17} - x_{10}} \right) \left(\frac{x_4 - x_{13}}{x_{17} - x_{15}} \right) \left(\frac{x_5 - x_4}{x_{13} - x_5} \right) \right] + \left(\frac{x_{20} - x_1}{x_{21} - x_{20}} \right)$$

VI. Simulation

A. Courbes

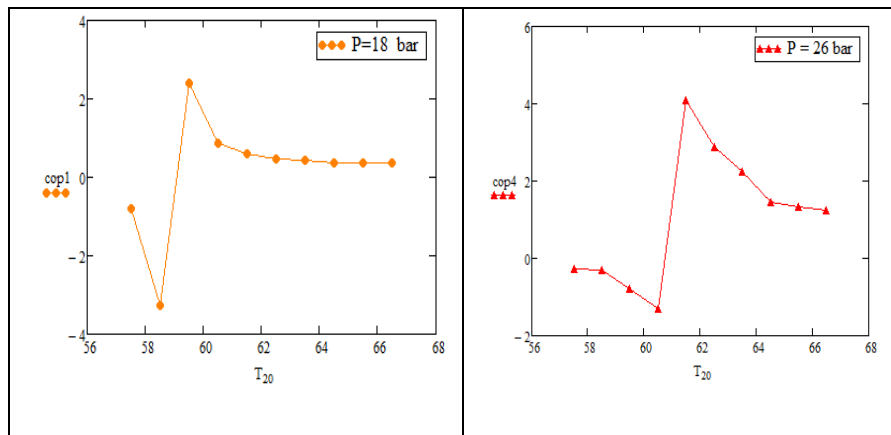


Fig. 3. Effet de la température T_{20} sur le COP pour des pressions constantes.

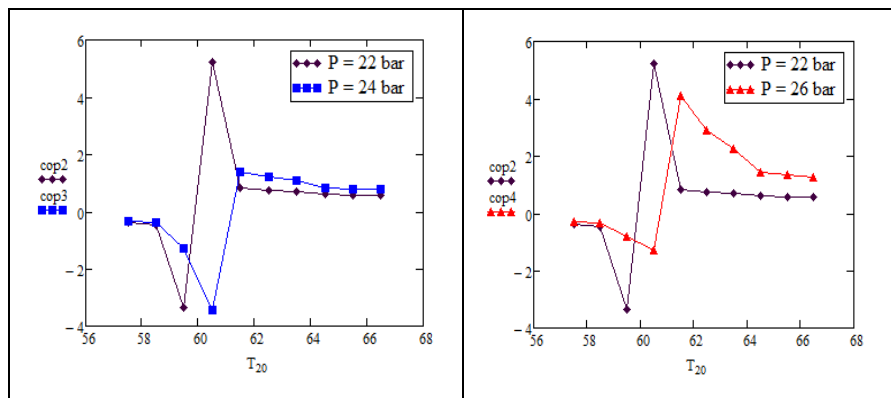


Fig. 4. Effet des pressions sur la variation de COP.

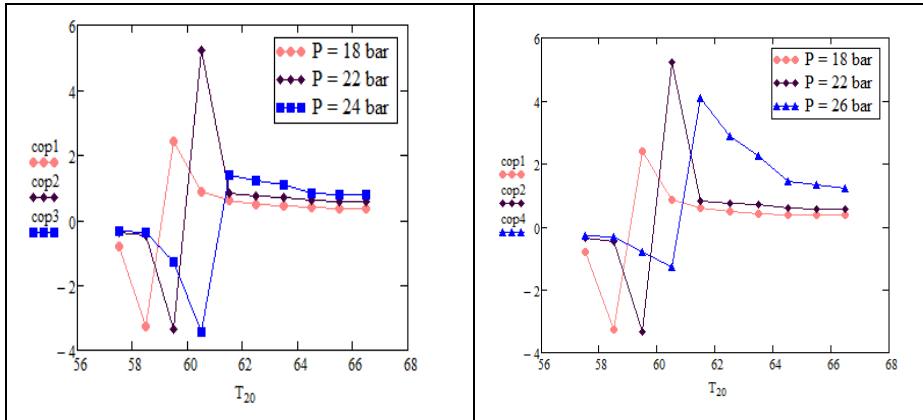


Fig. 5 Effet de différentes pressions sur la variation de COP

B. Discussions et interprétations

Les différents résultats présentés dans ce travail sont obtenus à partir de la résolution des équations du modèle développé ci-dessus. Notre modèle permet d'analyser et d'étudier l'influence de différents paramètres sur l'efficacité du système et sur la performance de chaque composant constituant ce dernier. Pour étudier l'influence d'un paramètre, nous le faisons varier à partir d'un état de référence et nous maintenons les autres paramètres constants.

Pour une pression moyenne de 10 bars au niveau de l'absorbeur 2 et une température de 65°C à la sortie de ce dernier au niveau de la partie n°18 (T_{18}) (voir la figure 2) on détermine le titre $X_{18} = X_{19} = X_{20}$, passant par la pompe et l'échangeur de chaleur d'efficacité $\text{eff} = 0,5$, on aura d'autres valeurs des pressions et températures au niveau de l'élément 20 (T_{20} et P_{20}), en faisant varier les températures pour différents pressions de ce dernier on aura :

La figure 3 : présente l'influence de la température sur la variation du COP pour différents pression $P = 18$ bars et $P = 26$ bars.

Les figures 4 et 5 présentent l'effet de la pression sur la variation du COP, dans un intervalle de températures dans l'absorbeur 2.

Autour de 60°C, l'installation commence à travailler, on voit qu'il y a une instabilité du COP dans un petit intervalle de température et ensuite une stabilisation des valeurs des COP importantes.

Les résultats montrent que le coefficient de performance croît avec l'augmentation des pressions au niveau de l'élément 20 de notre installation (figure 2) qui est en relation directe avec la pression de l'absorbeur 2, passant par les éléments secondaires de l'installation pompes et échangeur de chaleurs placés après l'absorbeur 2.

VII. Conclusion

Dans le cadre du développement durable et de la limitation des émissions de gaz à effet de serre et nocifs pour la couche d'ozone, il convient préalablement à la conception des nouveaux procédés de prendre en compte non seulement les quantités d'énergies mise en œuvre, mais également la qualité de ces énergies.

Dans ce travail, nous avons analysé l'influence du nombre des bouilleurs sur le comportement de l'installation de réfrigération solaire à absorption fonctionnant avec le couple binaire ($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$).

L'étude d'une installation de réfrigération à absorption solaire a trois bouilleurs en série, nous a permis d'obtenir des coefficients de performance (COP) importants. Aussi, la possibilité de fonctionner avec des températures moyennes qui nécessitent des simples panneaux solaires plans sans utiliser des colonnes de rectification, ce qui contribue considérablement à une réduction du coût global de l'installation. Il est possible d'atteindre un COP maximal très intéressant pour une température autour de 60°C au niveau de l'absorbeur 2 dans une installation à trois bouilleurs.

Références

- [1] Bulletin N°2002-1, Institut International du Froid historique (IIF).
- [2] R. Daoudi, Thermo frigo pompe à absorption à eau –bromure de lithium pour hautes température : Modélisation, Conception, Et Analyse Exégétique, Thèse De Doctorat, INPL, 1999.
- [3] T. Berlitz, P. Satzeger, F. Summerer, F. Ziegler, G. Alefeld, A contribution to the evaluation of the economic perspectives of absorption chillers, Int J Ref, 220 (1999), 67-76.
- [4] W.Z. Chen, F.R. Sun, S.M. Cheng, L.G. Chen, Study on optimal performance and working temperatures of endoreversible forward and reverse Carnot cycle, Int. J. Energy Res, 19 (1995), 751-759.
- [5] A. Fellah, A. Ben Brahim, M. Bourouis and A. Coronas, Cooling loads analysis of an equivalent endoreversible model for a solar absorption refrigerator, Int.J.Exergy, 3-4 (2006), 452-465.
- [6] F.M. Meeuse, on the design of chemical processes with improved controllability characteristics, DUP Science Netherlands, (2002).
- [7] L. Crosu, M. Feidt, R. Benelmir, Study of the improvement in the performance coefficient of machines operating with three reservoirs, Int.J. Exergy, 1-1 (2004), 147-162.
- [8] J. Chen, Optimal performance analysis of irreversible cycles used as heat pumps and refrigerators, J. Phys. D: Appl. Phys, 30 (1997), 582-587.

- [9] R. Ayala, C. L. Heard and F. A. Holland, Ammonia/Lithium nitrate absorption/ compression refrigeration cycle.part II: experimental, Applied Thermal Engineering Vol. 18, No. 8, pp. 661-670, 1998.
- [10] D.W. SUN, Comparaison of the performances of $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$ and $\text{NH}_3\text{-NaSCN}$ absorption refrigeration systems, Energy Convers. Mgmt Vol. 39, No. 5/6, pp. 357-368, 1998.
- [11] Y. Park, J.-S. Kim and H. Lee, Physical properties of the lithium bromide + 1,3-propanediol + water system, Int J. Refrig. Vol. 20, No. 5, pp. 319-325, 1997.
- [12] S. Iyoki, Y. Inoue, T. Uemura, Performance comparison of various absorption heat transformer using nitratebased absorbent systems, 1999 Ashrae Winter Meeting 24-27 janvier Chicago.
- [13] R. Saravanan, M. P. Maiya, Thermodynamic comparaison comparaison of water-based working fluid combinations for a vapour absorption refrigeration system, Applied Thermal Engineering Vol. 18, No. 7, pp. 553-568, 1998.
- [14] H.-R. Lee, K.-K. Koo, S. Jeong, J.-S. Kim, H. Leec, Y.-S. Oh, D.-R. Park, Y.-S. Baek, Thermodynamic design data and performance evaluation of the water + lithium bromide + lithium iodide + lithium nitrate + lithium chloride system for absorption chiller, Applied Thermal Engineering 20 (2000) 707-720.
- [15] A. Sencan, Modeling of thermodynamic properties of refrigerant/absorbent couples using data mining process, Energy Conversion and Management 48 (2007) 470-480.
- [16] Maxime Duminil, (Doc B 9730-5) « théorie des machine frigorifique», technique de l'ingénieur, traité génie énergétique, pages 4,5.
- [17] Lafri D., Hamid A., Belhamel M., and Semmar D.: « Study of the thermal behavior of a cure solar storage exchanger Heat». Revue of renewable energy: thermal Days. (2001).
- [18] M. Feidt, A. Haj Taleb, O. Lottin «Thermodynamic properties of ammonia water mixtures». International Congress of Refrigeration, Washington, ICR 0113. (2003).



Les oligochètes de Dhaia (Parc National de Chréa)

Esserhane Warda et Baha Mounia

Ecole normale supérieure de Kouba- Alger, Algérie

E.mail: warda.flowers@yahoo.fr ; normalienne@yahoo.fr

Résumé-

Le présent travail consiste à étudier la répartition écobioécologique des oligochètes dans la région de Dhaia (Parc National de Chréa). Quatre stations sont prospectées. Pour chacune des stations sont étudiés d'une part les facteurs physicochimiques et d'autre part, les facteurs biotiques. Les oligochètes échantillonnés sont représentés par deux familles: *Megascolicidae* et *Lumbricidae*, 5 genres représentés par 8 espèces. Les individus ont été identifiés aux espèces : *Allolobophora caliginosa*, *Allolobophora rosea*, *Allolobophora molleri*, *Allolobophora miniscula*, *Helodrilus antipai*, *Amyntas* sp., *Eiseniella tetraedra*, *Octodrilus complanatus* et *Octodrilus maghrebinus triginta*.

Mots clés: Oligochètes, Dhaia, Parc National de Chréa.

The oligochaeta of Dhaia (Chr a National Park)

Abstract-

The present work consists in studying the ecobiological distribution of oligochaeta of Dhaia (National Park of Chr a). Four stations are surveyed. For each station, physicochemical and biological factors are studied. The sampled oligochaeta are represented by two families: *Megascolicidae* and *Lumbricidae*. Five genera represented by 8 species are discovered. The individuals were identified to the following species: *Allolobophora caliginosa*, *Allolobophora rosea*, *Allolobophora molleri*, *Allolobophora miniscula*, *Helodrilus antipai*, *Amyntas* sp., *Eiseniella tetraedra*, *Octodrilus complanatus* and *Octodrilus maghrebinus triginta*.

Key words: Oligochaeta, Dhaia, Parc National de Chréa.

1.- Introduction

En Algérie, les premiers travaux datant de 1861, ont été effectués par Gandolphe qui observa à Annaba la présence des vers de terre. Par la

suite, Beddard (1892) signala la présence de *Microscolex algeriensis*. Dès lors, les travaux ont été interrompus et n'ont été repris qu'en 1987 par Omodeo et Martinucci qui identifièrent des vers de terre dans les régions forestières du massif de Djurdjura, de l'Akfadou et du massif de l'Edough. En 1997, Baha a entrepris une étude quantitative et qualitative des vers de terres sur des sols cultivés. En 2001, une nouvelle espèce a été signalée à Boufarik par Baha et Berra. En 2003, Omodeo, Rota et Baha s'intéressèrent à la biogéographie et les caractères écologiques des oligochètes du Maghreb.

Sur le plan de la recherche fondamentale, nous devons signaler que l'inventaire systématique et la répartition des vers de terre en Algérie sont encore mal connus. Par contre, dans la plupart des pays du pourtour méditerranéen, ce travail de base a déjà été fait. Il s'agit là d'une lacune à combler dans l'immédiat.

Ce travail se veut une mise au point des connaissances des oligochètes terrestres dans la région de Dhaia. Il vise d'une part, à relever et à inventorier les originalités de cette macrofaune (espèces endémiques, rares et vulnérables) et d'autre part à relever les principales lacunes et insuffisances qui persistent dans la connaissance de la biodiversité des divers groupes systématiques dans le Parc National de Chréa.

2.- Matériels et méthodes

Notre étude a été réalisée à proximité du Lac de Dhaia qui appartient au Parc National de Chréa. Classé réserve mondiale de la biosphère en 2003. Culminant à plus de 1200 mètres d'altitude sur l'Atlas Blidéen, il se situe à 90 km au Nord-Ouest de la capitale d'Alger et à 12 km au Sud-Est de la wilaya de Médéa dont il dépend administrativement (fig.1).



Fig.1 – Localisation de la région de Dhaia dans le P.N.C.

Les lombrics ont été échantillonnés pendant la saison humide (Décembre-Janvier 2016-2017); dans quatre stations à proximité du Lac de Dhaia. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau 1. L'extraction est réalisée selon la méthode de Lavelle (1988) et Anderson et Ingram (1989) modifiée; qui consiste à isoler 5 monolithes le long d'un transect choisi au hasard. Les monolithes sont distants de 5 m et mesurant 10 cm x 30 cm. Chaque prélèvement est déposé dans un plateau et trié manuellement puis conservés dans du formol à 4% pour la détermination taxonomique.

3.- Résultats et discussion

Dans les quatre stations explorées dans la région de Dhaia, 141 Oligochètes sont échantillonnés. Le nombre d'individus est de 25 dans la station I, 10 dans la station II, 73 dans la station III et 33 dans la station IV. Les espèces échantillonnées sont identifiées selon la classification de Bouché (1972). Nous présentons pour chaque espèce, sa description et sa répartition géographique dans les stations de prélèvement et en Algérie.

Tableau 1. - Caractéristiques des stations d'échantillonnage

	Station I	Station II	Station III	Station IV
Altitude (m)	1183	1190	1189	1185
Latitude (N)	36°21'59.18'	36°22'11.31"	36°22'03.09"	36°21'56.08"
Longitude (E)	2°41'35.54"	2°41'39.32"	2°41'30.40"	2°41'29.26"
Etage bioclimatique : Sub- Humide à Hivers doux				
Strate Herbacée	- <i>Ammoides atlantica</i> - <i>Ammoides verticilata</i> - <i>Bellis sylvestris</i> - <i>Hyposeris radiata</i> - <i>Montha retondifolia</i>	- <i>Bellis sylvestris</i> - <i>Hyposeris radiata</i> - <i>Montha retondifolia</i>	- <i>Hyposeris radiata</i> - <i>Silybum marianum</i> - <i>Montha retondifolia</i>	- <i>Hyposeris radiata</i> - <i>Silene atlantica</i> - <i>Silene gallica</i> - <i>Silene italica</i> - <i>Montha retondifolia</i> - <i>Ranunculus bullatus</i> - <i>Ranunculus millefolius</i>
Strate Arborescente	- <i>Calycotome spinosa</i> - <i>Crataegus monogyna</i>	- <i>Clematis flammula</i>	- <i>Cistus monspeliensis</i> - <i>Calycotome spinosa</i> - <i>Quercus ilex</i> - <i>Quercus faganae</i> - <i>Clematis flammula</i> - <i>Crataegus monogyna</i> - <i>Prunus avium</i> - <i>Rosa sempervirens</i> - <i>Rubus ulmifolius</i>	- <i>Calycotome spinosa</i> - <i>Quercus ilex</i> - <i>Quercus faganae</i> - <i>Clematis flammula</i> - <i>Prunus avium</i>

pH sol-eau	6.88	7.25	6.53	7.01
pH sol-KCl	6.9	6.88	6.13	6.59
Carbone	7.2	14.4	7.86	8.64
Matière organique	12.38	24.76	13.51	14.86
Calcaire	13.5	15.5	7	11.17
Granulométrie :	Argilo-limoneuse			

Les 141 individus récoltés appartiennent à deux familles; celles des Megascolecidae et des Lumbricidae. Ils sont identifiés à cinq genres : Eiseniella, Octodrilus, Allobophora, Amynthes et Nicodrilus et à huit espèces : *Amynthes* sp., *Eiseniella tetraedra*, *Octodrilus complanatus*, *Octodrilus maghribinus triginta*, *Nicodrilus caliginosus*, *Allolobophora rosea*, *Helodrilus antipai* et *Allolobophora miniscula*.

Famille des MEGASCOLECIDAE (Michaelsen, 1900)

Genre *Amynthes* (Kinberg, 1867)

Amynthes sp.

Echantillonnée dans les Stations I et II; 4 sub-adultes et 8 adultes.

Observation : Forme cylindrique avec la partie caudale un peu effilée. Pérostomium épilobique, 1/3, fermé. Soies périchatiennes. Clitellum en anneau, pas de sillons transversaux, occupe les segments 13(14)-16(17).

Répartition géographique: Cosmopolite, native d'Inde, observée sous agrumes au niveau de la Mitidja (Baha, 1997).

Famille des LUMBRICIDAE (Claus, 1880)

Genre *Octodrilus* (Omodeo, 1956)

Octodrilus complanatus (Dugès, 1828)

Echantillonnée dans la station III; 20 sub-adultes et 5 adultes.

Observation : Espèce assez monotypique. Forme cylindrique avec aplatissement clitellien et caudal. Prostomium épilobique 1/3 fermé. Chaetophores en papilles : a : 17, 18, 19 et 23 que d'un seul côté. Clitellum en forme de selle, n'est pas segmenté dorsalement en 1/2 28-37. Puberculum en 27(28)-38(39), en forme de gouttière blanche, présence de papille en 39 au-dessus de la soie b qui sont des prolongements des tubercules pubères.

Répartition géographique : Cette espèce occupe à peu près tout le pourtour méditerranéen (Omodeo, 1961) et une aire importante s'étendant assez loin dans l'U.R.S.S méridionale. Signalée dans la petite et la grande Kabylie par Omodeo et Martinucci (1987); au niveau de la Mitidja (Baha, 1997) et dans le Nord algérien (Omodeo et al., 2003).

Octodrilus maghribinus triginta

Echantillonnée dans la station III; 2 jeunes, 1 sub-adultes et 5 adultes.

Observation : Forme cylindrique avec la partie postérieure aplatie. Prostomium épilobique 1/2 ouvert étroit. Chaetophores en papilles en a et b au niveau du segment 30 (triginta en latin) et en cd en 30 et 32 très réduites. Clitellum en forme de selle en 30-(36)37. Puberculum peu développé en (29)30-(36)37.

Répartition géographique : Signalée dans la petite et la grande Kabylie par Omodeo et Martinucci (1987).

Genre *Nicodrilus* Bouché, 1972

***Nicodrilus caliginosus caliginosus* (Bouché, 1972)**

Echantillonnée dans les quatre stations; 16 jeunes, 8 sub-adultes et 39 adultes.

Observation : Forme cylindrique aplatie au niveau caudal. Prostomium épilobique 1/2 ouvert dans certains individus 1/3 fermé. Clitellum en forme de selle à parois lisse en (26) 27 - (32) 34. Puberculum en forme de bandes clitellaires en (26) 29-34.

Répartition géographique : Cette espèce est cosmopolite son aire de répartition géographique est assez vaste. Signalée dans la petite et la grande Kabylie par Omodeo et Martinucci (1987); au niveau de la Mitidja Baha 1997 et dans le Nord algérien (Omodeo et al., 2003).

Genre : *Allolobophora* (Eisen, 1874)

***Allolobophora (sensu lato) rosea rosea* (Savigny, 1826)**

Echantillonnée dans les stations II et IV, 4 jeunes, 2 sub-adultes et 6 adultes.

Observation : Espèce assez polymorphe. Forme cylindrique avec aplatissement clitellien avec queue apparemment tronquée. Pas de pigmentation cutanée, couleur rosâtre, clitellum jaune orangé. Prostomium épilobique, 1/3(1/2), fermé. Chaetophores en papilles en ab : 9, 10, 11, 16 au niveau du clitellum en pustules : 29, 30,31; en cd : 9, 10 11. Pores dorsaux bien visibles, grands, le premier en 4/5 (5/6). Clitellum en forme de selle, en relief parfois segmenté dorsalement occupe les segments (24)25-32(33). Puberculum en (29)30-31(32) sous forme de bandelettes blanches.

Répartition géographique : Cette espèce a une très vaste aire de répartition, en Eurasie et en Afrique du Nord. Elle a été introduite un peu partout dans toutes les régions à climat froid et tempéré. Signalée dans la petite et la grande Kabylie par Omodeo et Martinucci (1987) et au niveau de la Mitidja (Baha, 1997).

Allolobophora antipai antipai (Michaelsen, 1891)

Cette espèce est synonyme de *Helodrilus antipai*.

Echantillonnée dans la station III, 7 adultes.

Observation : Forme cylindrique. Prostomium épilobique, large, 1/3, fermé avec présence de rides longitudinales. Chaetophores en papilles ab : 9, 11, 12, variables dans la région clitellienne parfois en 26-28 et en cd en 11. Clitellum 24(25)-32 (33) (1/2 34). Tubercules de puberté en 30 et 31, (quatre) très saillant en fossettes. Papilles a et b en 8, 9, 10, 26, 27, 28, 30 et 31. Papilles cd en 10.

Répartition géographique : Elle a été mise en évidence dans le centre et le sud d'Europe. Signalée dans la petite et la grande Kabylie par Omdodeo et Martinucci (1987) et au niveau de la Mitidja (Baha, 1997).

Allolobophora miniscula (Rosa, 1896)

Echantillonnée dans la station IV, 4 adultes

Observation : Espèce assez monotypique. Espèce très petite ne dépassant pas 2 cm en général. Forme cylindrique avec une queue apparemment tronquée. Prostomium environ 2/3 dans le premier segment. Clitellum en 1/2 26 (27)-32, exceptionnellement en 28-33.

Répartition géographique : Cette espèce est commune dans le centre et le nord de l'Italie, la Grèce, la Turquie, la Tunisie et l'Algérie; moins représentée en France, l'Espagne et l'Angleterre (Omodeo et Rota, 1991). Ce ver est commun en Europe central et occidentale et apparaît fréquente en Algérie au niveau de la Mitidja (Baha, 1997).

Genre *Eiseniella* (Michaelsen, 1900)

Eiseniella tetraedra (Gates, 1977b)

Echantillonnée dans la station III, 4 adultes.

Observation : Espèce très polymorphe, souches parthénogénétiques. Forme cylindrique dans la partie postclitellaire et la partie postérieure est de section quadrangulaire.

Prostomium épilobique. Clitellum en forme de selle, non segmenté du côté dorsal, occupe les segments 22-26. Puberculum en bandes blanches s'étendant de 23 à 26.

Répartition géographique : C'est une espèce cosmopolite, comme dans toute l'Europe, au Turkestan et dans le bassin méditerranéen (Omodeo, 1961). Elle s'est également largement établi en Amérique du Nord et du Sud, Afrique du Sud, Inde, Australie et Nouvelle-Zélande (Talavera, 1988). En France, elle occupe la totalité du territoire (Bouché, 1972). Signalée dans la grande Kabylie par Omdodeo et Martinucci (1987) et au niveau de la Mitidja (Baha 1997).

4.- Conclusion

Huit espèces appartenant à cinq genres et deux familles ont été identifiées. *Nicodrilus caliginosus* et *Octodrilus complnatus* sont les espèces dominantes dans la région de Dhaia. *Nicodrilus caliginosus* a été trouvée dans toutes les stations. La plupart des espèces sont absentes dans la première station. *Helodrilus antipai*, *Alollobophora miniscula* et *Eiseiniella tetraedra* n'occupent qu'une seule station; Il s'agit alors probablement d'espèces qui se maintiennent difficilement dans les différentes conditions de milieu.

5.- Références bibliographiques

- Anderson M. et Ingram J.S., 1989. - Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods. Oxon: Commonwealth Agricultural Bureau.
- Baha M., 1997. - The earthworm fauna of Mitidja, Algeria. *Tropical Zoology*, 10, 247-254.
- Baha M. et Berra S., 2001. - *Proselodrilus doumandjii* n.sp., a new lumbricid from Algeria. *Tropical Zoology* 14, 87-93.
- Beddard F.E., 1892. - On earthworms from Algeria and Tunisia. *Proceedings of the Royal Physical Society of Edinburg, Session 1892, Edinburg*.
- Bouche M.B., 1972. - Lombriciens de France. Ecologie et systematique. *Annates de Zoologie et Ecologie Animate (Numero hors serie)*, 671 pp.
- Duges A., 1828. - Recherche sur la respiration et la reproduction des annélides sétigères abranches. *Annales des Sciences Naturelle Paris*, 15, 284-336.
- Eisen G. 1874. - New Englands och Canadas Lumbricides. *Ofversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Forhandlingar Stockholm* 31 (2): 41-49.
- Gandolphe M., 1861.- Lombric phosphorescent. *Revue et Magazine de Zoologie* 13, 284-287.
- Gates G. E. 1977. - On the correct generic name for some west coast native earthworms, with aids for a study of the genus. *Megadrilogica* 3: 54-60.
- Lavelle P., 1988. - Assessing the abundance and role of invertebrate communities in tropical soils: aims and methods. *Journal of African Zoology* 102: 275-283.
- Michaelsen W. 1891. — Terricolen der Berliner Zoologischen Sammlung. Part I. *Archiv fur Naturgeschichte* 57: 1-24, pl. 8.
- Michaelsen W., 1900. - Oligochaeta. *Das Tierreich* 10, Berlin.
- Omodeo P., 1956. - Contributo alla revisione dei Lumbricidae. *Archo tool. ital.*, 41: 129-212.
- Omodeo P. et Martinucci G.B., 1987. - Earthworms of Maghreb, pp. 235-250. In: Bonvicini Pagliai A.M. & Omodeo P., Edits. *On earthworms*.

Selected Symposia and Monographs Unione Zoologica Italiana, 2. *Modena: Mucchi*, 562 pp.

Omodeo P. et Rota E., 1991. - Earthworms of Turkey.II. *Bollettino di Zoologia*, 58, 171-181.

Omodeo P. Rota E. et Baha M., 2003. – The megadrile fauna (Annelida: Oligocgaeta) of Maghreb: a biogeographical and ecological characterization. *Pedobiologia*, 47, 458-465.

Rosa D., 1896. - Revisione dei Lumbricidi. *Memorie dell'Accademia delle Scienze di Torino* (2) 43: 399- 476.

Savigny J.C., 1928.- G. Cuvier : Analyse des travaux de l'Académie royale des Sciences, pendant l'année 1821, partie physique. *Mémoire de l'Académie des Sciences de l'Institut de France Paris*, 5, 176-184.



Analyse des techniques cheminées solaires par différentes méthodes de simulations

Analysis of solar chimneys by Different Simulation Methods

Chergui T.*, Boualit Abd. H., Lebbi M., Laouar S. et Bouzahar T.

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaia, Algérie.

E.mail: tchergui@uraer

Résumé-

Les techniques cheminées solaires constituent un élément essentiel dans la plus part des systèmes de thermique solaires à basse température comme le conditionnement d'air (la climatisation) le séchage et/ou la production de l'électricité solaire (les Centrale à Cheminées Solaires CCS). Les techniques cheminées solaires permettent la création d'écoulement d'air à débit et température contrôlés par voie solaire. La maîtrise des outils d'analyse technico-économique des Cheminées Solaires tels que ceux de la simulation énergétique ou thermo-hydrodynamique fera l'essence de ce papier. Il est très important d'avoir une étude théorique simple, néanmoins précise, pour une évaluation de premier ordre des performances et afin de guider le décideur aussi bien que le concepteur et les jeunes chercheurs par la suite vers une meilleure stratégie de choix, de conception et d'installation. Pour ce faire nous nous sommes basé sur les équations de la mécanique des fluides et du transfert de chaleur, pour développer un modèle analytique simple pour prédire les performances et les caractéristiques des centrales à cheminée solaire CCS. Ce modèle s'est avéré très utiles au stade d'une étude de faisabilité. Néanmoins, une étude CFD sur le phénomène de convection libre, laminaire ou turbulente dans des géométries complexes pour la prédiction des caractéristiques du champ thermo-hydrodynamique se voit indispensable dans des situations où on s'intéresse aux phénomènes locaux pour comprendre ou améliorer notre système.

Mots clés: cheminée solaire, thermohydrodynamique, simulation, modèle analytique, CFD, laminaire, turbulent, FVM, FEM, Fluent.

Abstract-

Solar chimney techniques are an essential element in most solar thermal systems at low temperature, such as air conditioning (air conditioning), drying and / or solar electricity production (CCS Solar Fireplaces. Solar chimneys techniques allow the creation of solar-controlled airflow and temperature flows. The mastery of the technico-economic analysis tools of solar chimneys such as those of energy simulation or thermo-hydrodynamics will make the essence It is very important to have a simple but precise theoretical study for a first-rate evaluation of performance and to guide the decision-maker as well as the designer and the young researchers thereafter towards a better strategy of Choice, design and installation. To do this we are based on the equations of the mecha Fluids and heat transfer, to develop a simple analytical model to predict the performance and characteristics of CCS solar stack power plants. This model proved to be very useful at the stage of a feasibility study. Nevertheless, a CFD study on the phenomenon of free, laminar or turbulent convection in complex geometries for the prediction of thermal hydrodynamic field characteristics is indispensable in situations where we are interested in local phenomena to understand or improve our system.

Key words: Solar chimney, thermohydrodynamics, simulation, analytical model, CFD, laminar, turbulent, FVM, FEM, Fluent

I. INTRODUCTION

Avec un gisement solaire thermique de 169.44 TWh/an, photovoltaïque de 13.9 TWh/an et éolien de 35 TWh/an, l'Algérie dispose d'un gisement solaire qui lui offre une place inéluctable dans l'économie énergétique mondiale semblable ou plus importante que celle qu'elle l'a toujours occupé dans l'aire des énergies fossiles [1].

Composé essentiellement de plus de 85 % de zone aride et semi-aride faiblement peuplées et avec un immense gisement d'eau [2,3], l'Algérie représente l'environnement idéal pour l'implémentation des systèmes d'énergies renouvelables connus par leurs caractère de décentralisation. Les Techniques Cheminées Solaires (TCS) sont des systèmes thermiques solaires qui viennent s'aligner avec d'autres systèmes d'origine renouvelable pour offrir des solutions alternatives ou complémentaires aux énergies fossiles, solutions tant attendues par un monde errant entre la compétitivité, la croissance économique et le confort vital par utilisation d'énergies propres. Les techniques cheminées solaires constituent un élément essentiel dans la plus part des systèmes de thermique solaires à basse température comme le conditionnement d'air (le confort thermique le séchage et/ou la production de l'électricité solaire (Fig. 1).

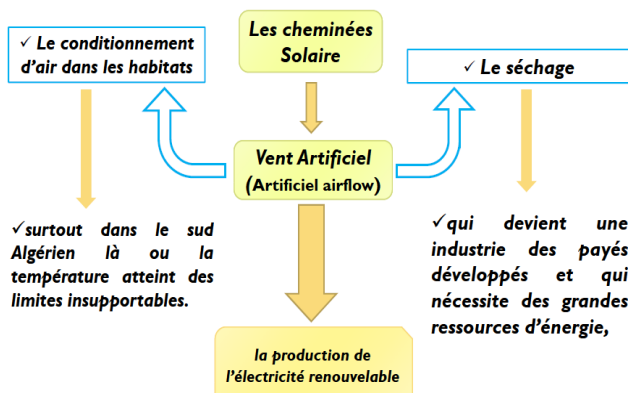


Fig. 1. Les différentes applications des techniques cheminées solaires.

Les techniques cheminées solaires permettent la création d'écoulement d'air à débit et température contrôlés par voie solaire et donc elle permet un contrôle passif de l'écoulement (Fig. 2). L'énergie cinétique de l'air en écoulement peut être transformée en énergie électrique en utilisant des aérogénérateurs. On parle alors des Centrales à cheminée solaire (CCS) (voir Figures 3 et 4). Il devient bien clair que l'énergie cinétique produite constitue le fruit d'une installation cheminée solaire, donc : Une minimisation de sa dégradation constitue un objectif majeur dans la conception des cheminées solaires. La maîtrise des outils d'analyse technico-économique des Cheminées Solaires tels que ceux de la simulation énergétique ou thermo-hydrodynamique fait l'essence des différents travaux sur les cheminées solaires de la dernière décennie. Nous envisageons par ce travail une revue sur l'analyse numérique et les techniques d'optimisation en se basant sur une série de travaux sur l'influence des différents paramètres géométriques et météorologiques sur la qualité du champ thermo-hydrodynamique via le débit massique produit par les Cheminées Solaires.

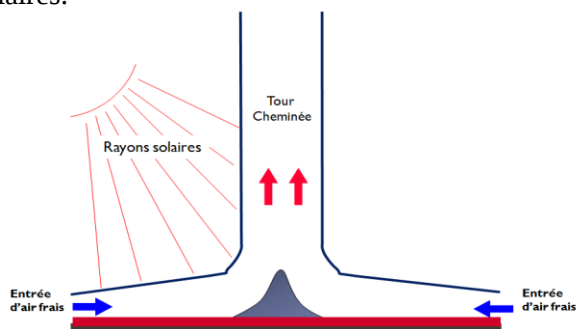


Fig. 2. Principe de fonctionnement des cheminées solaires.

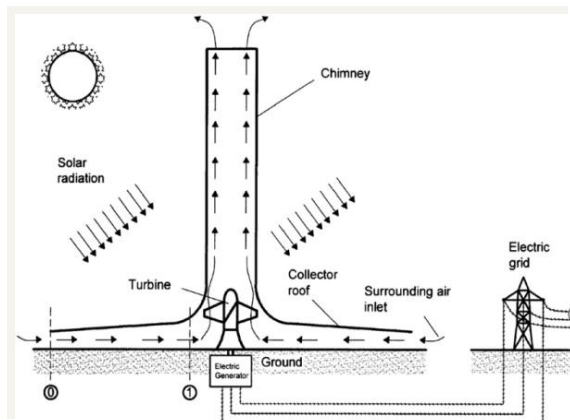


Fig. 3. Synoptique d'une centrale à cheminée Solaire CCS [4].

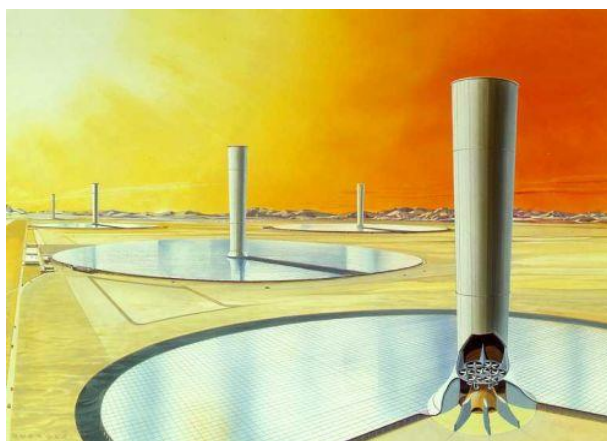


Fig. 4. Vue des principaux composants d'une centrale à cheminée solaire.

Les outils sont principalement : Le développement de modèles analytiques et de codes de calcul, réunissant l'efficacité et la simplicité, l'élaboration de codes de calcul CFD à la base des Méthodes Volumes et /ou Eléments Finis FVM & FEM, ou la maîtrise des codes de calcul CFD commerciaux tel que le Fluent et/ou le CFX.

II. PROJETS DE CENTRALE A CHEMINEES SOLAIRES

Prototype de Manzanares Le premier prototype expérimental d'une centrale à cheminée solaire a été conçu par le bureau d'études Schlaich Bergemann et Partner de Stuttgart [5]. Le distributeur d'électricité espagnol « Union Electrica Fenosa » a proposé le site de Manzanares (ville espagnole située à 180 kilomètres au sud de Madrid) et le ministère allemand de recherche (BMFT) a financé le projet. La construction du prototype a été

terminée en 1982 et a fonctionné pendant plus de 7 ans. Sur la Fig 9., on montre des photos du prototype expérimental de Mansanares. La Centrale de Jinshawan-China Réalisée à Jinshawan, en Mongolie intérieure (voir Fig. 6) Chine du Nord, c'est une installation de production d'électricité combinant l'énergie solaire et l'énergie éolienne [6]. Fonctionnelle depuis le 10 Décembre 2010, cette unité de production de 200 kW de puissance peut fournir jusqu'à 400.000 kWh électrique par an, épargnant ainsi des émissions équivalent à de 100 tonnes de CO₂ charbon et économisant 900 tonnes d'eau, par rapport à la production d'énergie au moyen d'une centrale thermique. Ce projet n'occupe du désert que des terres incultes. L'exploitation et l'entretien est également très simples et l'usine solaire ne produira aucune pollution. Cette tour solaire affiche d'excellentes performances en matière de protection de l'environnement.



Fig. 5. Photo de la centrale à cheminée solaire de Manzanares.



Fig. 6. Photo de la centrale à cheminée solaire en Chines.



Fig. 7. Photo de la centrale à cheminée solaire pilote de Kerman en Iran [7].

La Centrale de Kerman-Iran L'intensité d'irradiation solaire moyenne à Kerman, Iran (latitude $30^{\circ} 17'$ Nord et la longitude $57^{\circ} 5'$ Est), est plus de 2000 ans kWh/m^2 et l'ensoleillement est d'environ 2800 h en un an. Afin d'évaluer la faisabilité de la CCS en tant que source d'énergie applicable pour l'environnement, une centrale pilote dans cette région désertique a été construit sur la base des évaluations initiales (Fig. 7). La centrale pilote de Kerman, dotée d'une tour d'environ 60 m de hauteur et de 3 m de diamètre et d'un collecteur à simple vitre d'environ 40 m de diamètre est capable de produire près de 400 Watts de puissance électrique pour une insolation de 800 W/m^2 [7].

III. LES ETUDE ENERGETIQUES - MODELES ANALYTIQUES SIMPLES

Au stade d'une étude de faisabilité, il est très important d'avoir une étude théorique simple, néanmoins précise, pour une évaluation de premier ordre des performances et de guider, par la suite, le concepteur vers une meilleure conception et le décideur vers le meilleur choix énergétique. Un modèle est jugé fiable s'il possède un mécanisme permettant une représentation naturelle du couplage thermomécanique (prise en compte du rayonnement solaire) sans avoir recourt à la supposition d'un accroissement arbitraire de la température à travers le collecteur en plus de l'estimation de la variation de la pression dans le collecteur qui est due au changement de la section de passage et à la chaleur absorbée [8,9]. Généralement un modèle analytique repose sur le fait que une CCS est constitué de trois compartiments principales qui seront modélisés en première étape séparément - le capteur solaire, la cheminée et la turbine. Ces modèles de composants sont ensuite couplés ensemble pour simuler l'installation toute entière en utilisant un

processus itératif de sorte que l'entrée et la sortie de chaque composant convergent vers des valeurs stables [10]. Les simulations basées sur des modèles simplifiées ont bien commencées voilà des décennies (voir Chergui et al. [11]). A commencer par les études menées en 2012 par Asnaghi et Ladjvardi [12] ont étudié les performances d'une CCS et par conséquence la quantité d'énergie électrique produite à travers respectivement, la région du golfe Arabe et l'Iran. Koonsrisuk [13] pense que le collecteur en pente peut jouer le rôle de la tour et compenser ainsi l'effet thermosiphon. Par conséquence la hauteur de la tour peut être réduite et le coût de construction serait réduit également. Pour cela, ils ont développé un modèle mathématique basé sur des équations simplifiées de transport et l'équation d'état. Par ailleurs, une évaluation approximative du coût, y compris une approximation de l'investissement total a été réalisée. Koonsrisuk et Chitsomboon [14] ont développé un modèle mathématique simplifié pour étudier la relation entre le rapport de la pression et du débit massique du système, ainsi que l'influence de l'élévation de la température à travers le collecteur sur la puissance générée dans une cheminée solaire à grande échelle. Dans leur modélisation ils ont omis la turbine et ils se sont limités à un cas de flux de chaleur constant transmet à l'air par le collecteur. Cependant, ils ont prouvé l'importance de l'inclinaison du toit du collecteur par rapport à un toit horizontal en gains de puissance. Cao et al. [15] ont effectué une analyse économique et comparé l'aptitude des CCS conventionnelles à celles dotées d'un toit incliné placées à Lanzhou, nord-ouest de la Chine. Dans leur étude, ils ont examiné l'influence du coût d'investissement, la période de récupération prévu, le taux d'inflation, et le coût de l'électricité moyen actualisé LEC (levelised electricity cost). Guo et al. [16] ont analysé les effets des rayons du collecteur et de la tour sur la puissance de sortie de la CCS. Leurs résultats ont montré qu'il existe une limite pour le rayon de collecteur pour une puissance maximale délivrée. Ensuite, quatre conceptions de CCS de 100 MW avec différentes combinaisons des rayons du collecteur et de la tour ont été proposées pour choisir la combinaison la plus rentable. La puissance annuelle délivrée par la CCS choisie et installée dans la région de Hami en Chine. Récemment, Cottam et al. [17] ont développé un modèle analytique pour décrire avec précision la thermodynamique du capteur solaire sous un régime permanent. Ils se sont intéressés à l'évaluation de l'impact des différentes conceptions (formes géométriques et autres) du toit du collecteur sur les performances d'une CCS. Leurs résultats montrent que l'élévation du couvercle du collecteur a un effet significatif sur la performance de l'installation, il doit être donc suffisamment élevé en s'approchant à la jonction collecteur-tour pour assurer l'énergie cinétique maximale à l'entrée de la tour. Une nouvelle conception avec un profil de collecteur partiellement incliné a été proposée.

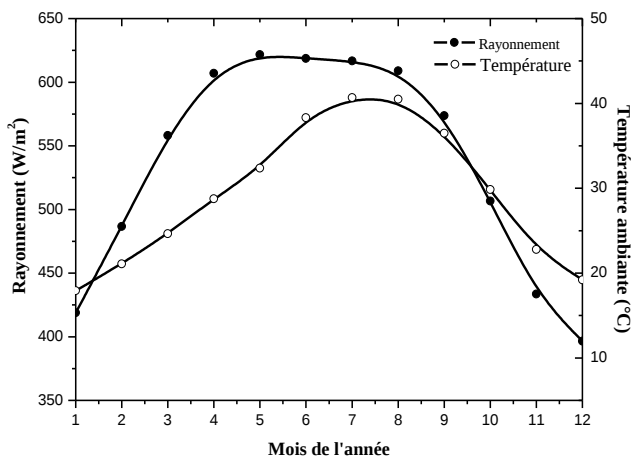
Il a été aperçu que cette nouvelle conception donne des puissances maximales similaires à celles délivrées par d'autres configurations existantes

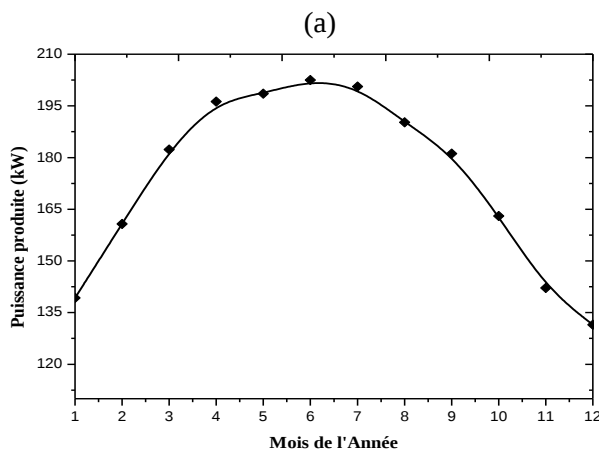
mais avec plus de robustesses à effectuer à des niveaux similaires de puissance maximale aux plus performants des conceptions de la canopée existants, et d'être robuste dans diverses conditions environnementales.

IV. EXEMPLE DE CALCUL ENERGETIQUE

A. Application au site de l'URAER Ghardaïa

Le site de l'URAER-Ghardaïa se situe au sud de l'Algérie où le gisement solaire est appréciable. L'énergie annuelle du rayonnement solaire est d'environ 2,0 MWh/m²/an et la photopériode atteint une moyenne de 10 heures par jour pour toute l'année avec un maximum estival de 12 à 13 heures (Gairra et Bakelli [18,19]). Les résultats d'analyse montrent que la production de puissance par la CCS est digne d'intérêt dans cette région. Le modèle utilisé dans ces calculs est une amélioration de l'approche utilisée par Larbi et al. [10] dans la modélisation de la jonction de transition collecteur-tour en plus du modèle utilisé pour la tour. Cependant, le modèle mathématique du collecteur de forme circulaire développé par Chergui [8] a été maintenue. Le code de calcul associé à cette simulation a été développé et testé sous l'environnement "Matlab". La Fig. 8a donne les variations moyennes mensuelles de l'irradiation solaire et de la température ambiante au site de l'URAER-Ghardaïa. Il est à remarquer que la température moyenne mensuelle minimale, d'environ 17.5 °C, se produit en Janvier tandis que la température moyenne mensuelle maximale, qui atteint les 41°C, se produit en Juillet. La variation de l'irradiation solaire est différente de celle de la température moyenne mensuelle. Ghardaïa possède la meilleure insolation solaire en Mai avec une valeur d'environ 620 W/m² et le minimum d'insolation en Décembre avec une valeur d'environ 380 W/m². La Fig. 8b montre l'évolution de la production de puissance au cours du temps. La capacité de production d'électricité se situe entre 130 et 200 kW pendant toute l'année.





(b)

Fig. 8. (a) Evolution des irradiances et des températures moyennes mensuelles au cours du temps. Dans la région de Ghardaïa. (b) Puissances moyennes mensuelles délivrées par la centrale cheminée solaire au cours du temps. Pour une CCS installé à Ghardaïa.

La CCS peut produire plus de puissance, de Mars à Septembre, car le rayonnement solaire est élevé en cette période. En outre, il est possible de noter d'après les Figues 8a et 8b que les variations de l'irradiation solaire et de la production d'énergie se comportent de la même manière : plus l'irradiation solaire est importante, plus la capacité de production d'énergie est haute.

V. ETUDE DE CFD – ETAT DE L'ART

Par études de CFD on entend dire analyse des systèmes cheminées solaires en utilisant la dynamique des fluides numériques CFD (Computational Fluid Dynamique). ces études sont de caractères fondamentales là où les équations de transports en 2 ou 3 dimensions et plus exactement les équations de Navier-stokes sont résolues numériquement par la méthode de volumes finis FVM ou d'éléments finis FEM ou tout autre méthode. Ce type d'étude a commencé en 1999 par les travaux de Bernardes et al. [20] et Gannon and Backström [21]. L'utilisation de la CFD dans l'analyse des CCS a connu une croissance en matière de publication [22]. Chergui et al. [23,24] ont développé un code numérique de CFD basé sur la méthode des éléments finis. Des études sur l'influence de l'élévation du toit du collecteur et du diamètre de la tour sur le contrôle du champ thermohydrodynamique, la variation de la force d'entraînement de l'écoulement (gradient de température) a été prise en compte à travers la variation du nombre de Rayleigh, ainsi le champ de vitesse et la distribution de la température, dans le système, ont été évalués en fonction de Ra. Chergui et al. [25] ont

système. les valeurs du rapport de rayon $Rt^*=R_{out}/R_{in}$ examinées varient de 0.5 à 6. ils ont montré que ce rapport possède une valeur optimale à ne pas dépasser.

Chergui et al. [40] se sont particulièrement intéressés à l'effet de la forme de certaines parties d'un cheminée solaire comme la forme de la jonction collecteur-tour, ou la tour de forme tronconique convergente ou divergente. A cet effet, les équations de transport de flux ont été modélisées et résolues numériquement pour différentes formes géométriques à l'aide de la méthode des volumes finis en coordonnées généralisées. Ils ont constaté que quelques configurations géométriques génèrent des perturbations, qui reflétaient sur les comportements thermo-hydrodynamiques de l'écoulement. Ils ont conclu que des modifications sur la forme géométrique peuvent éliminer cette perturbation dissipation. En utilisant Fluent, Djimlia et Chaker [41] ont conduit une étude d'analyse sur le champ thermohydrodynamique d'une cheminée solaire en fonction du nombre de Rayleigh.

Tayebi et Djezzar [42] ont présenté une étude numérique pour donner plus de détail sur le collecteur. Ils ont choisi la région d'Adrar en sud-ouest de l'Algérie comme exemple de site d'installation de leurs systèmes pour examiner l'effet du rayonnement aussi bien que la température ambiante sur leur système.

VI. EXEMPLE DE CALCUL CFD – METHODOLOGIE

Nous allons présenter dans ce paragraphe comment on peut entreprendre une étude de CFD d'une cheminée solaire qui fait intervenir un écoulement de l'air par convection naturelle.

A. Model mathématique

Les équations décrivant l'écoulement moyen par convection naturelle dans les cheminées solaires sont: l'équation de continuité, les deux équations de conservation de la quantité de mouvements et l'équation de conservation d'énergie. Pour pouvoir résoudre les équations de l'écoulement moyen, il est nécessaire de déterminer la viscosité turbulente μ_t et pour se faire, nous avons utilisé le modèle $k-\varepsilon$ standard de Launder et Spalding [43] largement utilisé dans la CFD. Ce modèle de plusieurs versions s'intéresse essentiellement à l'énergie cinétique mise en jeu.

Dans ce modèle, la viscosité turbulente est évaluée à partir de l'énergie cinétique turbulente et de sa dissipation.

$$\mu_t = \rho c_\mu f_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon}$$

Des équations de transport pour les variables turbulentes supplémentaires sont donc nécessaires pour fermer les équations de l'écoulement moyen.

B. Equations de mouvement en coordonnées curvilignes

Le calcul numérique est basé sur la discrétisation en coordonnées généralisés des équations de transport par la méthode des Volumes Finis (FVM) sur un maillage structuré en 2-D. Cette méthodologie permet d'étudier les différentes géométries ainsi que les différentes formes de conditions aux limites [9,44], puisque la solution sera obtenue dans ce qu'on appelle le plan de calcul qui est fixe, indépendamment de la géométrie du système réel. Cette méthode comporte deux algorithmes principaux à savoir: un algorithme pour la génération des coordonnées du système (génération de maillage), et l'autre pour la solution des équations régissant dans le nouveau système de coordonnées [44].

Les coordonnées curvilignes d'un point sont reliées au système de coordonnées cylindriques par le biais de deux transformations (Fig. 3):

$$\xi = \xi(r, y)$$

$$\eta = \eta(r, y)$$

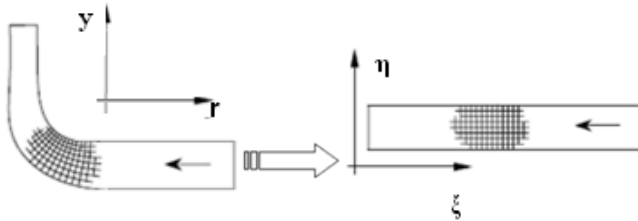


Fig. 9. Transformation du plan physique (r, z) au plan de calcul (ξ, η) .

Les équations de transport peuvent être écrites sous une forme condensée et en coordonnées généralisées comme suit [9] :

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r \phi U_1)}{\partial \xi} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r \phi U_2)}{\partial \eta} = -P\phi + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\Gamma \phi J r \left(\alpha \frac{\partial \phi}{\partial \xi} - \beta \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \right) \right) \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\Gamma \phi J r \left(\gamma \frac{\partial \phi}{\partial \eta} - \beta \frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right) \right) + S\phi \quad (1) \end{aligned}$$

Tel que [9]:

- J représente le Jacobéen de transformation, donné par :

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial \xi}{\partial r} & \frac{\partial \xi}{\partial y} \\ \frac{\partial \eta}{\partial r} & \frac{\partial \eta}{\partial y} \end{vmatrix} = \xi_r \eta_y - \eta_r \xi_y = (r_\xi y_\eta - r_\eta y_\xi)^{-1} \quad (2a)$$

- α , β , et γ représentent les composantes du tenseur métrique g_{ij} , donnés par :

$$\alpha = \left(\frac{\partial r}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta} \right)^2 = r_\eta^2 + y_\eta^2 \quad (2b)$$

$$\gamma = r_\xi^2 + y_\xi^2 \quad (2c)$$

$$\beta = r_\xi r_\eta + y_\xi y_\eta \quad (2d)$$

- U et V représentent les composantes covariantes de la vitesse et sont données par :

$$U = uy_\eta - vr_\eta$$

$$V = ur_\xi - vy_\xi$$

C. Méthode numérique

Les équations régissant les présentées ci-dessus ont été discrétisées en équations algébriques en utilisant une approche de volume finis généralisée (GFVA : General Finite Volume Approach), couramment utilisés pour calculer un écoulement turbulent dans des domaines géométriquement complexes. Cette GFVA est basée sur une formulation des équations de mouvement dans un système de coordonnées non-orthogonal avec les composantes covariantes de la vitesse [44,45]. Le couplage pression-vitesse a été traité par l'algorithme SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) de Patankar & Spalding [46]. Pour éliminer les oscillations de pression (ou) nous avons adopté une technique proposée en 1982 par deux jeunes chercheurs, Rhie et Chow [47]. Actuellement, presque tous les codes CFD commerciaux et même de nombreux codes de recherche récemment développés adoptent cette technique qui simplifie grandement l'écriture et aussi la mise en œuvre des conditions aux limites en particulier pour des maillages non structurés. L'arrangement des variables dépendantes dans l'approche de Rhie-Chow [47] est de type colocalisé ou non-décalé (colocate). Cette disposition présente plusieurs avantages par rapport à la grille décalée [48], par exemple les volumes de contrôle, pour toutes les variables, coïncident avec les limites du domaine de solutions, ce qui facilite la spécification des conditions aux limites, et des données géométriques doivent être calculés pour un seul ensemble d'volumes de contrôle (lorsque quinconce est utilisé, les données géométriques doivent être calculées pour les trois séries de volumes de contrôle).

D. Génération de maillage

Le maillage des géométries complexes est généré en utilisant les coordonnées curvilignes généralisées type Body-Fitted, dans lequel les

frontières du domaine physique coïncident avec une partie ou la totalité des coordonnées curvilignes. Ceci présente l'avantage que les limites peuvent être décrites avec précision et donc les conditions aux limites peuvent être facilement imposées.

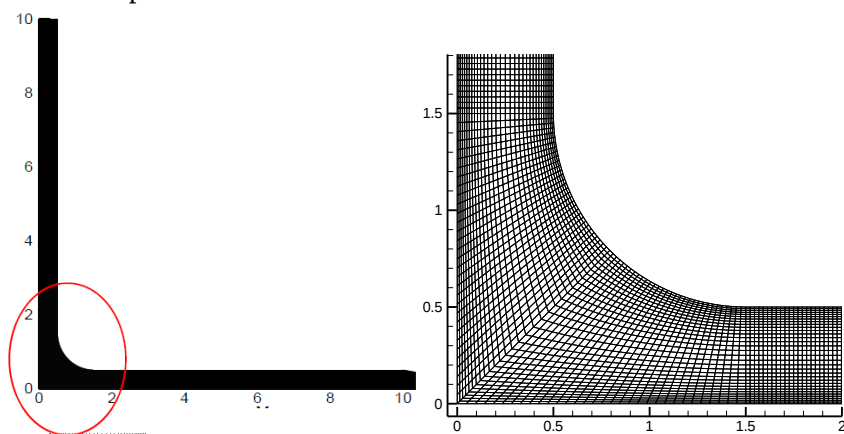


Fig. 10. Génération de maillage.

Une grille non uniforme avec plus de concentration sur les zones d'entrée-sortie et au niveau de la jonction collecteur-tour a été utilisée (Fig. 10). La résolution du système d'équations algébrique est réalisée par la méthode SIP (SIP: Strongly Implicit Procedure) of Stone [49].

E. Domaine d'étude et conditions aux limites

Comme conditions aux limites thermiques (voir Fig. 11), on considère que: L'air entre dans le collecteur à la température ambiante considérée comme la température froide. Les parois de la tour sont supposées adiabatiques. La température de la surface du sol est la température chaude.

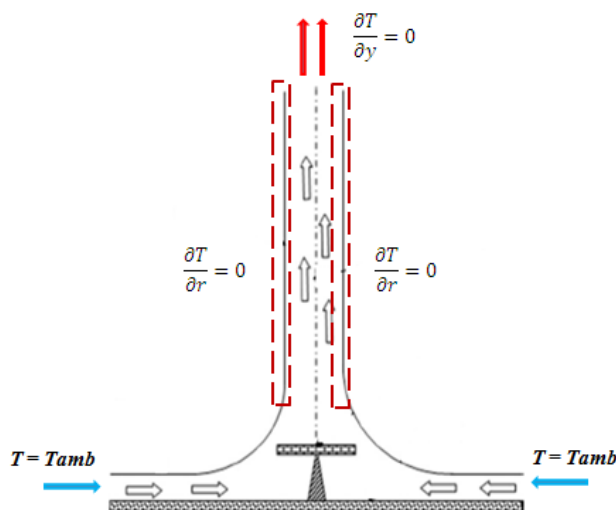


Fig. 11. Conditions aux limites thermiques.

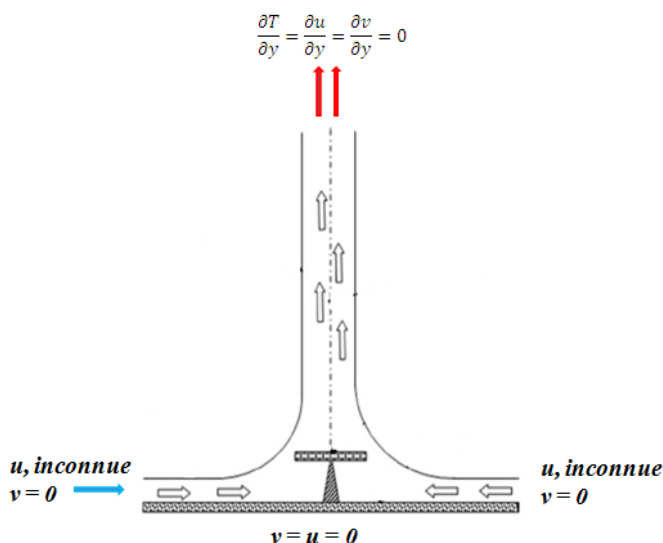


Fig. 12. Conditions aux limites hydrodynamiques.

Comme condition aux limites hydrodynamiques (voir Fig. 12), nous avons : l'air qui entre dans le collecteur avec une vitesse axiale nulle, et puisque l'écoulement est induit par les forces de flottabilité, la composante de la vitesse dans la direction radiale (u) est inconnue. Cette dernière est déterminée en utilisant un bilan de masse à chaque itération, jusqu'à la convergence des résultats [22]. À la sortie de la tour, on assume que l'écoulement est entièrement développé. Les conditions de non glissement et de parois imperméables ont été appliquées à la couverture, la jonction, aux parois de la tour, et à la surface du sol.

VII. EXEMPLE DE CALCUL CFD – RESULTATS

Dans cette partie nous allons donner quelques résultats issus de calcul CFD effectués pour déterminer les champs thermohydrodynamiques (champs de températures ou de vitesses). Dans le but de pouvoir optimiser le thermohydrodynamique par les différents paramètres géométriques et donc conclure sur les dimensions optimales avant la phase de réalisation).

F. Influence des paramètres géométriques

Dans cette partie on s'intéresse à l'influence des paramètres géométrique sur le champ thermo-hydrodynamique produit par une cheminée solaire. Nous rappelons que le système étudié est semblable à celui de Maia et al. [50]. C'est-à-dire un système de 12.3 m de hauteur doté d'un collecteur de 24 m de diamètre. Comme on note que nous avons choisi une température fixe comme condition au limite thermique au niveau du sol pour avoir un gradient de température de 10 °C.

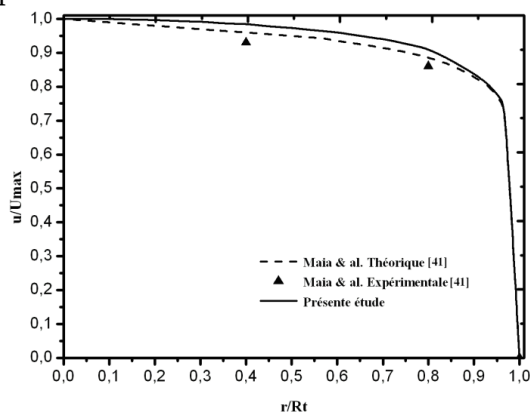


Fig. 13. Profil de la vitesse dans une section transversale de la tour. Comparaison de résultats [9].

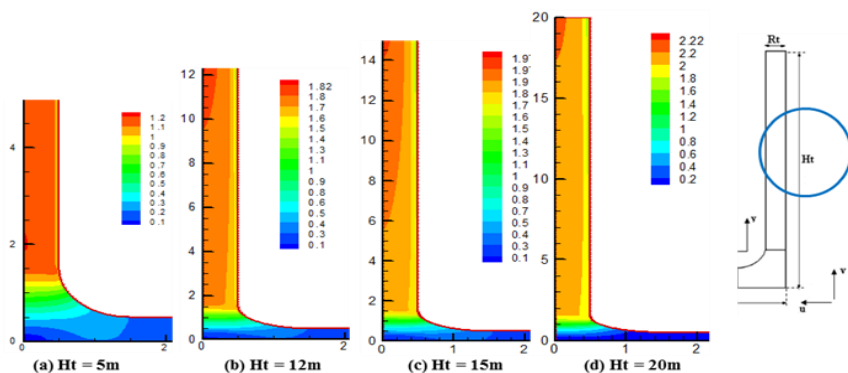


Fig. 14. Iso-vitesses pour les 4 hauteurs étudiées pour quatre hauteurs de la tour différentes.

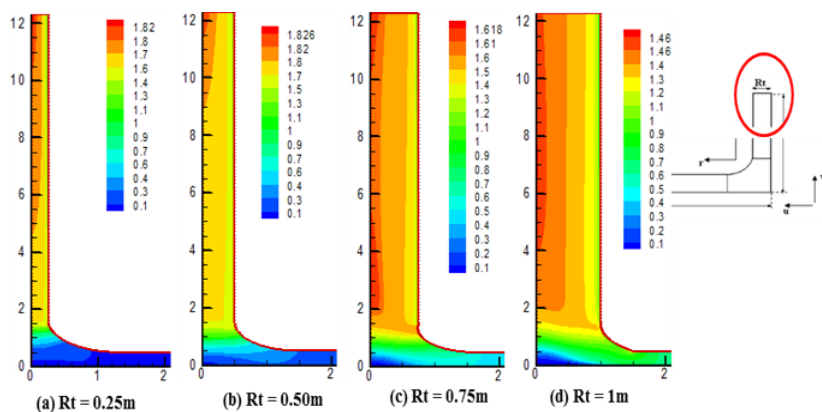


Fig. 15. Iso-vitesses pour les 4 hauteurs étudiées.

G. Sensibilité de la cheminée solaire aux paramètres géométriques de la tour

On montre [51] les isovitesses pour différentes hauteurs de la tour et différents diamètres de cette dernière (Figures 14 et 15). Les Figures 16 et 17 montrent, respectivement, l'évolution du débit massique produit par le système pour différentes valeurs du diamètre de la tour et de sa hauteur. On note que le débit massique produit par le système augmente continuellement avec l'augmentation de la hauteur de la tour. Cela peut s'expliquer par le fait que les dimensions de la tour favorisent les forces motrices, origine du mouvement (gradient de pression et forces de flottabilités). Par contre l'augmentation du rayon de la tour- induit une influence moindre des contraintes loin des parois de la tour faisant ainsi augmenté le débit généré par le système et donc une augmentation de la vitesse d'écoulement dans le collecteur.

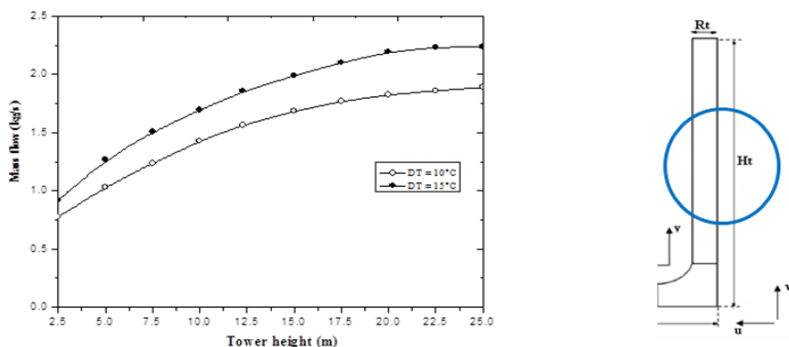


Fig. 16. Débit massique d'air produit par le système vs. la hauteur de la tour.

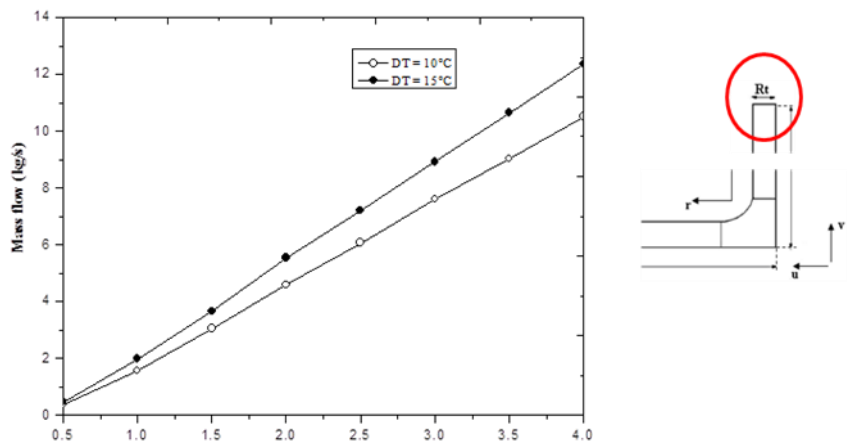


Fig. 17. Evolution du débit massique en fonction du rayon de la tour pour deux gradient de température.

H. Résumé des résultats obtenus sur la Sensibilité des cheminées solaires aux différentes configurations

Nous nous sommes intéressés à la sensibilité d'un système cheminée solaire aux différentes formes ou configurations que peut prendre l'un des trois compartiments constituant un système cheminée solaire à savoir : Une admission au collecteur à différentes hauteurs (Fig. 18a), un toit du collecteur incliné à différents angles (Fig. 18b), une forme tronconique de la tour : convergente, cylindrique ou divergente (Fig. 18c) et enfin une jonction collecteur-tour de plusieurs configurations (Fig. 18d).

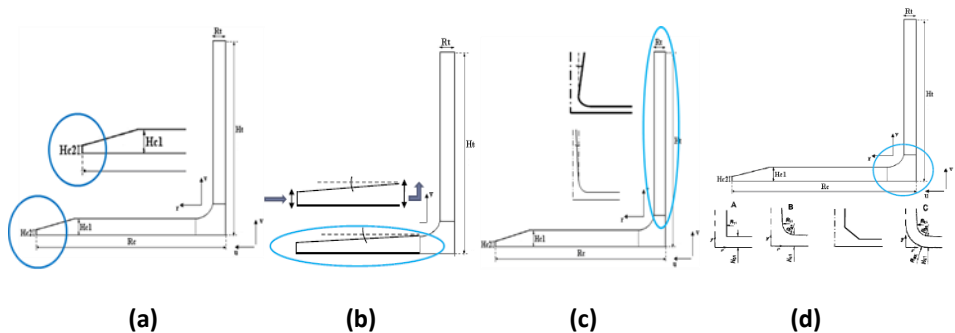


Fig. 18 Les différentes configurations analysées.

TABLEAU 1
SENSIBILITE A L'INCLINAISON DU TOIT DU COLLECTEUR.

Geometric configuration	$\alpha(^{\circ})$	H_{Cinlet} (m)	$H_{Coutlet}$ (m)	$H_{Caverage}$ (m)	v_{max} (m/s)	$\dot{m}$ (kg/s)
Slanted Collector-Cover	4.5	0.90	0.10	0.5	1.331	4.432
	3.4	0.80	0.20	0.5	1.330	4.431
	2.3	0.70	0.30	0.5	1.312	4.240
	1.1	0.60	0.40	0.5	1.301	4.199
Horizontal Cover	0	0.5	0.5	0.5	1.285	4.155

Chergui et al. [40] ont testé l'influence des différentes formes de la tour à savoir une forme tronconique (avec différents angles de divergence ou de convergence). Il a été démontré qu'une tour de forme divergente augmente le débit massique jusqu'à un certain angle de divergence là où le débit massique commence à chuter. Cependant une tour de forme convergente donne des résultats inverses en diminuant le débit massique, malgré la vitesse à la sortie est supérieure en raison de la section transversale d'écoulement de contrat. Dans le cas d'une tour tronconique convergente, la vitesse augmente en permanence suite à la contraction de la section de passage d'écoulement pour atteindre sa valeur maximale à la sortie de la tour. Il a été démontré [9,20,22,24,52] que les dimensions de la tour représentent les paramètres géométriques les plus importants dans le contrôle du champ hydrodynamique d'une cheminées solaires. Pour cette raison, une importance particulière à la forme de la tour a été donnée. On maintient la hauteur et le diamètre hydraulique équivalent à celui de la tour cylindrique déjà étudiée

- L'influence de l'inclinaison à différents angles du toit du collecteur a été également vérifiée. Les résultats de cette partie sont donnés dans le tableau 1. Par rapport à un toit horizontal, le toit incliné améliorer le champ hydrodynamique en augmentant le débit massique.
- Il a été démontré par plusieurs auteurs [9,52] que les dimensions de la tour, en particulier le rayon, sont les dimensions les plus importants pour affecter directement le champ hydrodynamique. Par conséquent une attention particulière a été donnée à la forme géométrique de la tour. Pour assurer un écoulement avec les mêmes propriétés pour toutes les formes étudiées, il faut garder le même volume d'air dans toutes les configurations. Géométriquement parlant, en dépit de la différence de forme des figures ci-dessous, ils doivent toujours définir la même aire de surface. Du tableau 2 on note que la forme tronconique divergente donne une meilleure qualité au champ hydrodynamique en délivrant un débit massique élevé par rapport à celui délivré, respectivement, par une forme cylindrique ou tronconique convergente.

TABLEAU 2

SENSIBILITE A LA FORME DE LA JNCTION COLLECTEUR-TOUR.



Geometric configuration	Hc(m)	Rt (m)	vmax (m/s)	$\dot{m}$ (kg/s)
Straight junction (SJC)	0.5	1.0	1.622	4.065
Curved junction (CJC)	0.5	1.0	1.464	4.178
Maia junction (MJC)	0.5	1.0	1.547	4.195
Junction with diffuser (SJC)	0.5	1.0	1.552	4.305

TABLEAU 3
SENSIBILITE A LA FORME TRONCONIQUE DE LA TOUR.

Geometric configuration	$\alpha(^{\circ})$	Rin. (m)	Rex. (m)	Rmoy (m)	vmax (m/s)	$\dot{m}$ (kg/s)
Divergent tower	-7	0.8	1.2	1	2.124	2.956
	-4	0.7	1.3	1	2.575	4.472
	-2.7	0.5	1.5	1	3.300	4.847
Cylindrical tower	0	1	1	1	1.285	4.155
Convergent tower	4	1.3	0.7	1	1.552	1.305
	7	1.5	0.5	1	1.547	2.195

- Le tableau 3 regroupe les quatre configurations géométriques analysées en donnant les vitesses maximales délivrées par chaque configuration aussi bien que les débits générés. Le but est de pouvoir comparer entre ces configurations et donc conclure sur la configuration optimale. La forme de la tour a été maintenu cylindrique.

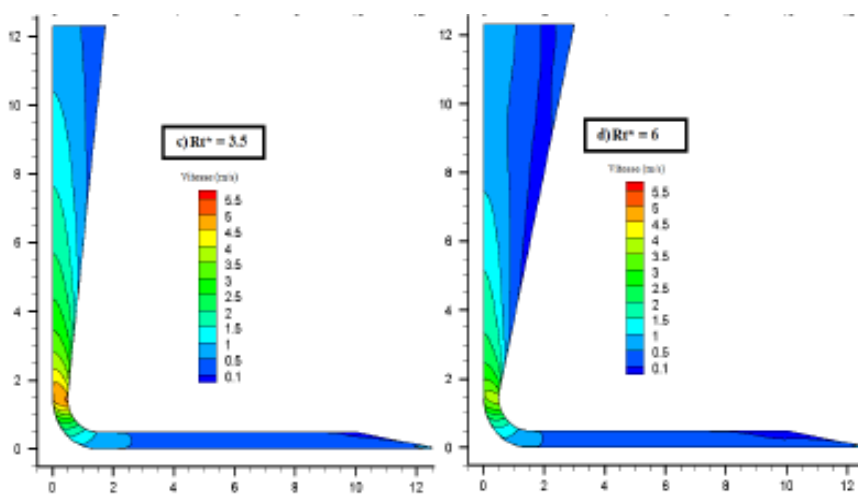


Fig. 19. Iso vitesses pour différents rapports sortie/entrée du rayon [37].

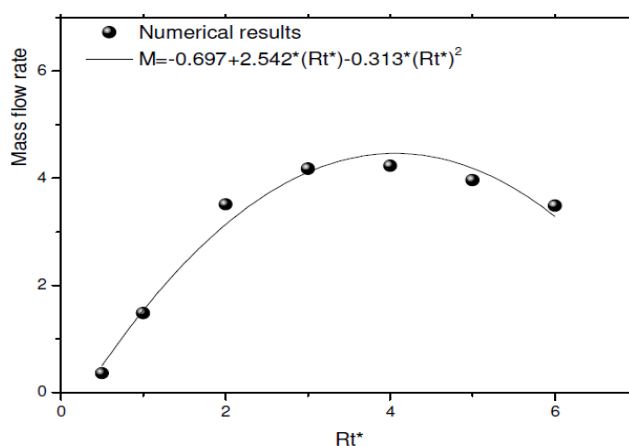


Fig. 20. Effet du rapport de rayon entrée/sortie de la tour sur le débit massique produit.

Lebbi et al. [39] se sont intéressé à l'influence du rapport entrée/sortie de la tour sur les performances hydrodynamique d'une cheminée solaire (Fig. 19) en cherchant un point optimale pour une vitesse et un débit maximums. Les auteurs ont conclu qu'un débit maximum de débit peut être atteint pour un rapport d'entrée/sortie du diamètre de la tour bien précis (Fig. 20). Lebbi et al. [37,38] ont analysé les caractéristiques thermo-hydrodynamiques de l'écoulement dans une cheminée solaire via la variation du nombre de Rayleigh. Ils suggèrent l'amélioration de ce champ par le contrôle de l'apparition des vortex de Rayleigh-Benard-Poiseuille initialement stratifié et uniforme. Ces vortex à caractère dissipatif réduits significativement le débit masse en présentant des obstacles fictifs à l'écoulement. Les auteurs ont présenté les lignes de la fonction de courant pour quelques nombres de Rayleigh variant de 10^4 à 10^8 . On montre sur la Fig. 21 l'évolution de la température le long du collecteur pour une élévation du sol de $y = 0.025$ m et pour différents nombre de Rayleigh. Sur cette figure nous pouvons voir l'apparition des instabilités de Rayleigh-Benard-Poiseuille pour un Rayleigh critique Rac.

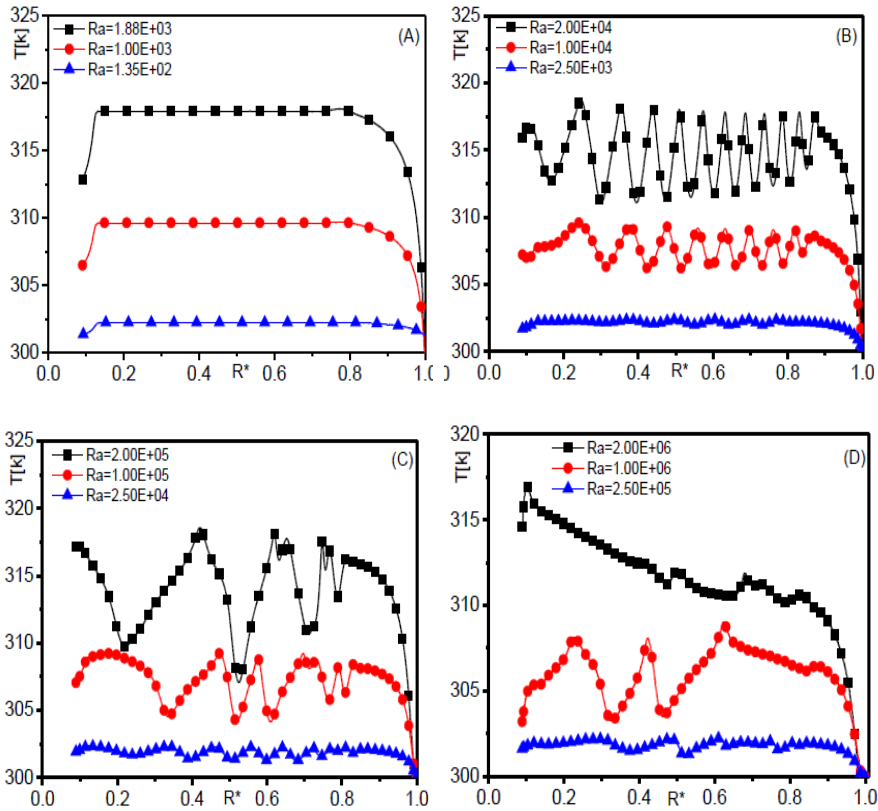


Fig. 21. Influence of the Rayleigh number on the temperature evolution along the collector, $y=0.025\text{m}$ [37,38].

VIII. CONCLUSIONS

Ce travail est le résumé d'une expérience qui a duré une quinzaine d'années sur quoi nous avons lancé une série d'études sur l'influence des différents paramètres géométriques et météorologiques sur la qualité du champ thermo-hydrodynamique via le débit massique produit par les cheminées solaires. Nous projetons par ce fait la construction d'une plate-forme d'analyse numérique et d'optimisation. La maîtrise des outils d'analyse technico-économique des Cheminées Solaires tels que ceux de la simulation énergétique ou thermo-hydrodynamique fait l'essence de notre projet. L'idée repose sur le fait que l'énergie cinétique générée est la mission fondamentale d'une cheminée solaire pour concevoir ce que nous sommes intéressés à connaître son évolution à travers l'évolution du débit massique de l'écoulement ainsi que la vitesse dans les différents compartiments. On présume avoir construit une plate-forme permettant l'information et

l'orientation technico-économique des décideurs, des investisseurs algériens et des jeunes chercheurs par l'élaboration d'une série de travaux de référence dans le domaine de production d'électricité par voie solaire-thermique à basse température.

Références Bibliographiques

- [1] Negrou B, Settou N, Chennouf N, Dokkar B. 2011. Valuation and development of the solar hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy*; 36:4110-6.
- [2] Amrani D., Cherouati D.E. and Cherchali M.E.H., 2000. Groundwater radon measurements in Algeria. *Journal of Environmental Radioactivity*; 51, 173-180.
- [3] Boutelhig A., Bakelli Y., Hadj Mohammed I., Hadj Arab A., 2012. Performances study of different PV powered DC pump configurations for an optimum energy rating at different heads under the outdoor conditions of a desert area. *Energy*; 39, 33-39.
- [4] Nizetic, S., Ninic, N., Klarin, B., 2008. Analysis and feasibility of implementing solar chimney power plants in the Mediterranean region. *Energy* 33, 1680–1690.
- [5] Schlaich J., R. Bergermann, W. Schiel and G. Weinrebe, 2005. Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems- Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation. *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 127, N°1, pp. 117 – 124.
- [6] Al-Kayiem H.H., Aja O.C., 2016. Historic and recent progress in solar chimney power plant enhancing technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1269–1292.
- [7] Gholamalizadeh E. and Mansouri S.H., 2013. A comprehensive approach to design and improve a solar chimney power plant: A special case – Kerman project,” *Appl. Energy*, vol. 102, pp. 975–982.
- [8] Chergui, T., 2007. Modélisation des Ecoulements dans les Cheminées Solaires. Mémoire de Magister. Ecole Nationale Polytechnique ENP, Alger, Algeria.
- [9] Chergui T., 2013. Etude des écoulements avec transfert de chaleur dans les centrales à cheminées solaires. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Polytechnique. Alger, Algérie.
- [10] Larbi, S, Bouhdjar, A and Chergui, T., 2010. Performance analysis of a solar chimney power plant in the southwestern region of Algeria. *Renewable Sustain Energy Rev.*, Vol.14, 470–477.
- [11] Chergui T., Boualit Abd. H., Larbi S. et Bouhdjar A., 2012. Technologie de la cheminée solaire pour la production de l'énergie. *Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa*, 83 – 94 83.

- [12] Asnaghi, A., Ladjevardi, S.M., 2012. Solar chimney power plant performance in Iran. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 3383–3390.
- [13] Koonsrisuk, A., 2012. Mathematical modeling of sloped solar chimney power plants. *Energy* 47, 582–589.
- [14] Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2013b. Effects of flow area changes on the potential of solar chimney power plants. *Energy* 51, 400–406.
- [15] Cao F, Li H, Zhao L, Guo L., 2013. Economic analysis of solar chimney power plants in North west China. *J. Renew. Sustain. Energy*; 5 : 021406.
- [16] Guo P.H. Li J.Y., Wang Y., 2014. Annual performance analysis of the solar chimney power plant in Sinkiang, China. *Energy Conversion and Management* 87, 392–399.
- [17] Cottam P.J., Duffour P., Lindstrand P. et Fromme P., 2016. Effect of canopy profile on solar thermal chimney performance. *Solar Energy*, 129, 286–296.
- [18] Gairaa K., Bakelli Y., 2013. Solar Energy Potential Assessment in the Algerian South Area: Case of Ghardaïa Region. *Journal of Renewable Energy*.
- [19] Gairaa K., Benkacalia S., 2008. Modélisation numérique des irradiances globale et diffuse au site de Ghardaïa. *Revue des Energies Renouvelables* 11 (1), 129-136.
- [20] Bernardes, M.A dos S., Valle, R. M., Cortez, M.F.B., 1999. Numerical analysis of natural laminar convection in a radial solar heater. *Int. J. Therm. Sci.*, 1999, Vol.38, pp. 42-50.
- [21] Gannon, A.J., Von Backström, T.W., 2000. Compressible flow through solar power plant chimneys. *J Solar Energy Eng.*, 2000, Vol.122, pp.138–145.
- [22] Chergui T., Larbi S. and Bouhdjar A., 2010. Thermo-hydrodynamic aspect analysis of flows in solar chimney power plants—A case study. *Renew Sustain Energy Rev.*
- [23] Chergui T., Larbi S. and Bouhdjar A., 2011. Configuration Aspect Analysis in Solar Chimney Power Plants Using Finite Element Method', *Proceeding of the Eleventh World Renewable Energy Congress, WREC2011, Linköping, Sweden, May 08-13.*
- [24] Chergui T., Boualit Abd. H., Larbi S. et Bouhadjar A., 2012. Contrôle du champ Thermo-hydrodynamique dans une centrale cheminée solaire. *CNMF12-Congrès national de mécanique des fluides 25-26 septembre 2012- USTHB - Alger. Algeria.*
- [25] Chergui T., Bouhadjar A., Boualit Abd. H., Larbi S. et 2012. Entropy Generation Analysis of the Solar Chimney Power Plant. *World Renewable Energy Forum, WREF 2012. 13- 17 May 2012, Denver, Colorado, USA.*

- [26] Tayebi T. and Djezzar M., 2012. Numerical Simulation of Natural Convection in a Solar Chimney," International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol. 2, pp. 712-717.
- [27] Tayebi T. and Djezzar M., 2013. Numerical Analysis of Flows in a Solar Chimney Power Plant with a Curved Junction," International Journal of Energy Science, vol. 3.
- [28] Lebbi M., Chergui T., Boualit H., Boutina I., 2014. Influence of geometric parameters on the hydrodynamics control of solar chimney. Int J Hydrogen Energy 39. 15246-15255.
- [29] Lebbi M., Chergui T., Boualit H., Boutina I., 2014. Influence des paramètres géométriques sur le contrôle thermo-hydrodynamique d'une centrale à cheminée solaire. Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°3 (2014) 377 – 386.
- Ming, T.Z., de Richter, R.K., Meng, F.L., Pan, Y., Liu, W., 2013a. Chimney shape numerical study for solar chimney power generating systems. Int. J. Energy Res. 37, 310–322.
- [30] Ming, T.Z., Gui, J.L., de Richter, R.K., Pan, Y., Xu, G.L., 2013b. Numerical analysis on the solar updraft power plant system with a blockage. Sol. Energy 98, 58–69.
- [31] Putkaradze, V., Vorobieff, P., Mammoli, A., Fathi, N., 2013. Inflatable free-standing flexible solar towers. Sol. Energy 98, 85–98.
- [32] Guo, P.H., Li, J.Y., Wang, Y., Liu, Y.W., 2013. Numerical analysis of the optimal turbine pressure drop ratio in a solar chimney power plant. Sol. Energy 98, 42–48.
- [33] Zou, Z., Guan, Z.Q., Gurgenci, H., 2014. Numerical simulation of solar enhanced natural draft dry cooling tower. Sol. Energy 101, 8–18.
- [34] Patel, S.K., Prasad, D., Ahmed, M.R., 2014. Computational studies on the effect of geometric parameters on the performance of a solar chimney power plant. Energy Convers. Manage. 77, 424–431.
- [35] Chergui T., M. Lebbi, Abd. H. Boualit, L. Boutina, A. Bouhdjar, S. Larbi, 2014. Analyse de l'effet de la Température Ambiante sur le champ Thermo-hydrodynamique des Cheminées Solaires.19-21Dec. CIER2014. Monastir, Tunisia.
- [36] Lebbi M., H. Boualit, T. Chergui, L. Boutina, A. Bouabdallah, H. Oualli, 2014. Rayleigh Number Effect On The Natural Laminar Convection In A Solar Chimney.19-21-Dec.CIER2014. À Monastir. Tunisie.
- [37] Chergui T., Lebbi M., Boualit Abd. H. et Boutina L., 2016. Numerical analysis of the airflow inside a solar chimney. la première conférence nationale sur les CFD et la technologie, centre de recherche nucléaire de (la CFD & Tech 2016, May 2016), Draria- Algiers, Algeria.
- [38] Lebbi M., Boualit Abd. H., Chergui T., Boutina L., 2015. Tower outlet/inlet radii ratio effects on the turbulent flow control in a solar

- chimney. 6th International Renewable Energy Congress (IREC15). March. INSPEC 15144396-10.1109/IREC.2015.7110972-IEEE
- [39] Chergui T., Boualit Abd. H., Lebbi M., Boutina L., 2015. Improved Thermo-hydrodynamic Field Quality in the Solar Chimneys. 6th International Renewable Energy Congress (IREC15). March. INSPEC 15144396-10.1109/IREC.2015.7110972-IEEE
- [40] Djimlia S. and Chaker A., 2015. Numerical analysis of the turbulent heat transfer at 2D in a solar chimney. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. vol. 4, no. 4.
- [41] Tayebi T. and Djezzar M., 2016. Effect of varying ambient temperature and solar radiation on the flow in a solar chimney collector. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*.
- [42] Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows. *Comput Methods Appl Mech* 1974; 3:269–89.
- [43] Ferziger Perić, M., *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Springer, 2002.
- [44] Wu. Xu, H., and Zhang, C., Numerical calculations of laminar flows using contravariant velocity fluxes. *Computers and Fluids*, 29: 149-177, 2000.
- [45] Patankar, S.V. and Spalding, D.B., A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 15, Issue 10, pp. 1787-1806, 1972.
- [46] Rhie C.M. and Chow W. L., 19-83. Numerical Study of the Turbulent Flow Past an Airfoil with Trailing Edge Separation. *AIAA Journal*, vol. 21, no 11, pp. 1525-1535.
- [47] Peric, M., Kessler, R. and Scheuerer, G., 1988. Comparison of finite-volume numerical methods with staggered and collocated grids, *Computers & Fluids*, Vol. 16. 4, pp. 389-403
- [48] Stone, H.L., Iterative Solution of Implicit Approximation of Multidimensional Partial Differential Equations. *SIAM J. on Num. Analysis* 5: 53, 1968.
- [49] Maia, C.B, Ferreira, A.G., Valle, R.M. and Cortez, M.F.B., 2009. Theoretical evaluation of the influence of geometric parameters and materials on the behavior of the air flow in a solar chimney. *Computers and Fluids*, Vol. 38, pp. 625–636
- [50] Chergui T., Boualit Abd H., Lebbi M., 2016. Rapport final du projet de recherche sur les technique cheminées solaires. Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie.



Contribution au calcul simplifié de la correction orthométrique en nivellement de précision

Haddad Mahdi

Centre des Techniques Spatiales. 1 Avenue de la Palestine, BP 13 Arzew, Oran 31200. Algérie.

Email: haddad_mahdi@yahoo.fr

Résumé-

L'altitude d'un point, généralement utile pour assurer le sens des écoulements, est la coordonnée par laquelle on exprime l'écart vertical de ce point à une surface de référence. Ainsi, plusieurs types d'altitude sont définis. Pour ce qui est des altitudes orthométriques, la surface de référence considérée est une surface équipotentielle du champ de gravité, correspondant approximativement au niveau moyen de la mer (géoïde).

Les surfaces équipotentielles du champ de gravité n'étant pas parallèles, il n'est pas possible de définir l'altitude comme une simple hauteur géométrique au-dessus d'une surface de référence. Ainsi, les dénivelées géométriques entre points, mesurées de proche en proche à partir d'un point fondamental par une technique de nivellement de précision, devraient être corrigées en tenant compte des variations de la gravité. Le calcul de ces corrections, dites orthométriques, à apporter aux dénivelées mesurées se fait selon deux formes. La première dite correction orthométrique normale est basée sur la pesanteur normale (ou théorique). La deuxième forme qui est une approche rigoureuse inclue les mesures de la pesanteur réelle dans le nivellement.

Cet article constitue une contribution au calcul simplifié des corrections orthométriques en nivellement de précision. Il propose une stratégie pour l'estimation des corrections orthométriques à apporter aux dénivelées d'un cheminement altimétrique. Un programme de traitement informatique dédié à la détermination numérique de la correction orthométrique normale sous ses trois formes ainsi que celle dite de Helmert a été élaboré. Un jeu de données de nivellement, couvrant la région de *Perth* en *Australie* a été utilisé afin de valider la fiabilité de ce programme qui a fourni des résultats concluants.

Mots clés: altitude, pesanteur observée, pesanteur normale, correction orthométrique normale, correction orthométrique de Helmert.

Contribution to the estimation of orthometric correction in precise leveling

Abstract-

The height of a point, generally useful to ensure the direction of runoff waters, is the coordinate which is expressed by the vertical distance between this point and a reference surface. Thus, several types of heights are defined. As for orthometric heights, the considered reference surface is an equipotential surface of the Earth's gravity field, corresponding approximately to the mean sea level (geoid).

The equipotential surfaces are not parallel; it is not possible to set the altitude as a simple geometric height above a reference surface. Thus, the geometric height differences between points measured step by step from a fundamental point with a precision leveling method should be corrected by taking into account the variations of gravity. The estimation of this correction, known as orthometric correction, that we will have to make to the measured height differences can be done through two approaches. The first known as the normal orthometric correction is based on normal gravity (or theoretical). The second form is a rigorous approach that includes the real gravity measurements in leveling.

This paper has therefore examined the theory and practical possibility to estimate the orthometric corrections for precise leveling networks. A computer program dedicated to numerical estimation of normal orthometric corrections in its three possible forms and the so-called Helmert correction was developed. Leveling data set covering the Perth area Australia was used to validate the reliability of this program, which provides conclusive results.

Key words: height, observed gravity, normal gravity, normal orthometric correction, Helmert's orthometric correction.

1.-Introduction

Les méthodes de détermination des altitudes ont connu un grand essor pendant les grandes périodes d'urbanisation et de viabilisation des espaces habités. L'objectif de ces mesures est de connaître précisément l'altitude de points (repères matérialisés), généralement pour assurer les écoulements. C'est pour cette raison que la surface de référence la plus souvent considérée est le géoïde. Compte tenu de la pesanteur, phénomène physique fondamental qui régit la forme de la terre, la différence de potentiel est indépendante du chemin

suivi, alors que la somme des dénivelées cumulées déterminées par le procédé de nivellement géométrique (cheminement altimétrique) en dépend. Pour rendre les dénivelées indépendantes du parcours suivi, il faut introduire la notion de la correction orthométrique.

L'altitude orthométrique d'un point s'interprète comme la longueur de la ligne de force reliant ce point au géoïde. La surface de référence des altitudes orthométriques est donc, en théorie, le géoïde. Mais comme la variation de l'intensité de la pesanteur à l'intérieur de la croûte terrestre n'est pas mesurable en pratique, on la modélise et les altitudes orthométriques ne peuvent pas être exactement calculées. On note qu'il existe plusieurs sous-types d'altitudes orthométriques selon la convention adoptée pour la variation verticale de l'intensité de la pesanteur.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude dont l'objectif principal assigné consiste à proposer une stratégie pour l'estimation des corrections orthométriques à apporter aux dénivelées d'un cheminement altimétrique. Afin d'atteindre ces objectifs, un programme informatique a été développé sous l'environnement *Matlab*. Ce programme propose le calcul des corrections orthométriques à apporter aux dénivelées mesurées selon deux formes :

- a première, dite correction orthométrique normale, provient des travaux de (Bowie et Avers, 1914) et est basée sur la pesanteur normale,
- a deuxième forme proposée par (Heiskanen et Moritz, 1967), qui est une approche rigoureuse incluant les mesures de la pesanteur dans le nivellement.

Afin de valider l'efficacité du programme développé, un jeu de données fourni par l'organisme *Geomatics Research Australasia* est utilisé. Ce réseau test composé de 14 points observés par GPS (Global Positioning System), nivellement et gravimétrie, traverse la faille de Darling qui est l'une des plus longues et des plus significatives des failles d'Australie.

La suite de cet article est organisée comme suit : La section "Méthodologie" introduit une description pédagogique et exhaustive des notions fondamentales de la géodésie physique, notamment celles qui seront utilisées pour l'estimation des corrections orthométriques pour le cas de notre réseau test. La section "Données utilisées" présente le cheminement altimétrique du réseau test considéré dans cette étude. Les résultats du calcul des corrections orthométriques, selon ses différentes formes, pour le réseau test sont présentés dans la section "Résultats expérimentaux". Enfin, les conclusions de cette étude sont présentées dans la dernière section.

2.-Methodologie - Quelques rappels sur la correction orthometrique

L'altitude d'un point est son éloignement d'une surface de référence (proche du géoïde). Elle est déterminée de proche en proche par nivellement à partir d'un point fondamental. Etant donné que les surfaces équipotentielles du champ de pesanteur ne sont pas parallèles, on opte pour la définition générale suivante (Nocquet et al., 2000) :

$$H_{(M)}^{(*)} = \frac{W(A) - W(M)}{\gamma^{(*)}(M)} \quad (1)$$

A est un point de référence dont l'altitude est conventionnellement nulle, par exemple le niveau moyen enregistré par un marégraphe. Le symbole (*) distingue les différents types d'altitude. $\gamma^{(*)}(M)$ est une fonction du seul point M qui a la dimension d'une accélération. Comme la différence de potentiel ne dépend pas du chemin suivi. L'équation (1) garantit une définition correcte et sans équivoque de l'altitude.

Le choix de la fonction $\gamma^{(*)}(M)$ détermine le type d'altitude. En particulier, si la valeur de $\gamma^{(*)}(M)$ est proche de la valeur de la pesanteur entre M et le géoïde, $H_{(M)}^{(*)}$ est proche de la hauteur de M au-dessus du géoïde. On comprend que la notion d'altitude est nécessairement liée à celle de potentiel. Pour établir un réseau de nivellement de grande étendue ou couvrant des zones montagneuses, il faut tenir compte des variations de g et déterminer des différences de potentiel, et pas seulement des dénivelées mesurées par le nivellement.

On définit la côte géopotentielle d'un point M comme étant le travail fourni pour se rendre d'un point A de la surface du géoïde (surface de référence) au point M. A la surface des continents, pour peu que l'on dispose de mesures gravimétriques précises, on peut évaluer la côte géopotentielle en posant $\gamma^{(*)}$ égal à 1 (Nocquet et al., 2000):

$$C(M) = W(A) - W(M) = \int_{MA} g dh \quad (2)$$

C est en unités géopotentielle (abrégiées GPU), 1 GPU = 10 m²s⁻². Les côtes géopotentielles s'écartent des hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde d'environ 20%.

L'utilisation de la cote géopotentielle, bien que séduisante en raison de son invariance vis-à-vis du chemin suivi pour passer du point A à M s'avère peu pratique pour mesurer des altitudes : différence entre altitude et dénivelée mesurée, unités en m^2/s^2 ... Pour cette raison, on définit plusieurs types d'altitudes en divisant cette cote géopotentielle par une valeur de g .

L'altitude orthométrique d'un point M , notée $H^{(o)}$, est son abscisse curviligne au-dessus du géoïde comptée le long de la ligne de force du champ de pesanteur (M_0M sur la figure 1). Ce type d'altitude est donc très proche de l'altitude commune, la "hauteur au-dessus du niveau de la mer". La valeur moyenne de g sur l'arc de ligne de force M_0M est :

$$\tilde{g} = \frac{1}{H^{(o)}_{(M)}} \int_{M_0M} g \cdot ds \quad (3)$$

avec ds la différentielle de l'abscisse curviligne suivant la ligne de force.

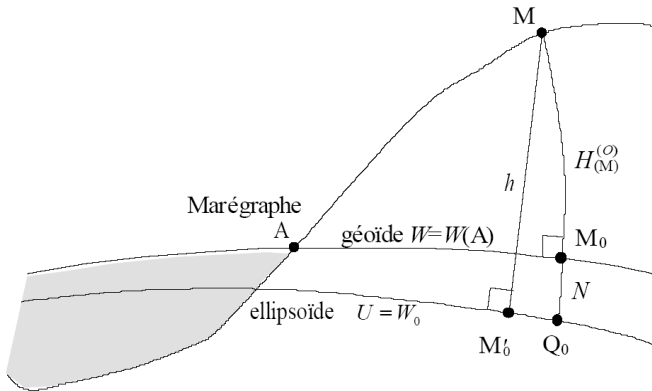


Figure 1 - Altitude orthométrique.

L'altitude orthométrique de M s'écrit donc :

$$H^{(o)}_{(M)} = \frac{C(M)}{\tilde{g}} = \frac{W(A) - W(M)}{\tilde{g}} \quad (4)$$

$\tilde{g}$ peut être remplacé par la valeur de g au point milieu entre M_0 et M , à l'altitude $\frac{H^{(o)}_{(M)}}{2}$.

L'équation devient :

$$H_{(M)}^{(o)} = \frac{W(A) - W(M)}{\xi(M) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial H} \right)_{\text{moy}} H_{(M)}^{(o)}} \quad (5)$$

avec $\left(\frac{\partial \xi}{\partial H} \right)_{\text{moy}}$ le gradient moyen de la pesanteur entre M et M_0 , $g(M)$ est la pesanteur réelle en M , sur la surface topographique.

Le calcul de $H_{(M)}^{(o)}$ à partir de $W(A) - W(M)$ est donné par l'expression suivante:

$$H_{(M)}^{(o)} = \frac{W(A) - W(M)}{\xi(M)} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial H} \right)_{\text{moy}} \frac{W(A) - W(M)}{(\xi(M))^2} \right) \quad (6)$$

$\left(\frac{\partial \xi}{\partial H} \right)$ est difficile à modéliser, il existe plusieurs choix possibles et donc plusieurs sous-types d'altitudes orthométriques. Pour les altitudes orthométriques de *Helmert*, qui sont la meilleure réalisation des altitudes orthométriques, on utilise généralement une approximation dite de *Bruns* (Heiskanen et Moritz, 1967) :

$$\frac{\partial \xi}{\partial H} = -2gJ + 4\pi G\rho - 2\omega^2 \quad (7)$$

J est la courbure moyenne du géoïde au point M_0 , ρ est la masse volumique de la croûte terrestre. On approxime la courbure du géoïde par celle de l'ellipsoïde, g par l'accélération normale et on prend pour ρ une valeur moyenne, en général 2670 kg m^{-3} .

Une évaluation numérique de $\left(\frac{\partial \xi}{\partial H} \right)_{\text{moy}}$ a été donnée par *Poincaré-Prey* :

$$\left(\frac{\partial \xi}{\partial H} \right)_{\text{moy}} = -0,848 \times 10^{-6} \text{ s}^{-2} = -0,0848 \text{ mGal/m} \quad (8)$$

La référence idéale des altitudes orthométriques de *Helmert* est le géoïde, dans la mesure où la masse volumique réelle de la croûte terrestre est bien représentée par la valeur moyenne adoptée.

Pour les altitudes dites orthométriques normales, on remplace le gradient moyen $\left(\frac{\partial \xi}{\partial H} \right)_{\text{moy}}$ dans l'équation (5) par le gradient moyen de la pesanteur normale. La référence idéale des altitudes orthométriques normales n'est donc pas exactement le géoïde.

Vu les courbures des champs de gravité, la hauteur ellipsoïdale comme étant la somme d'altitude orthométrique et la distance entre géoïde et ellipsoïde

(ondulation du géoïde) ne diffère que de moins d'un mm. Par conséquent, nous avons une relation telle que (Nocquet et al., 2000) :

$$h \approx N + H^{(o)} \quad (9)$$

où N est la hauteur du géoïde sur l'ellipsoïde.

L'altitude orthométrique de *Helmert* (équation 6) peut prendre différentes formes, selon l'approche préconisée. Par exemple (Heiskanen and Moritz, 1967) proposent pour un cheminement altimétrique la forme suivante :

$$CO_{AB} = \sum_A^B \frac{\bar{g}_i - \gamma_0^{45}}{\gamma_0^{45}} \delta n_i + \frac{\bar{g}_A - \gamma_0^{45}}{\gamma_0^{45}} H_A - \frac{\bar{g}_B - \gamma_0^{45}}{\gamma_0^{45}} H_B \quad (10)$$

où $\bar{g}_i$ est la pesanteur mesurée avec la dénivelée δn_i , $\bar{g}_A$ et $\bar{g}_B$ sont les pesanteurs moyennes (voir équation 8) aux points de départ et d'arrivée du cheminement, A et B dont les altitudes orthométriques respectives sont H_A et H_B , γ_0 est la pesanteur normale sur l'ellipsoïde donnée par la formule de *Somigliana* :

$$\gamma_0 = \frac{a\gamma_e \cos^2 \varphi + b\gamma_p \sin^2 \varphi}{(a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (11)$$

a et b sont le demi grand axe et le demi petit axe de l'ellipsoïde, γ_e et γ_p sont les pesanteurs normales équatoriale et polaire sur l'ellipsoïde, φ est la latitude géographique.

La quantité OC_{AB} est dite correction orthométrique de *Helmert*. Le problème avec cette correction est qu'il faut faire l'approximation de plusieurs de ses variables. Par exemple, la pesanteur moyenne représente la moyenne entre la pesanteur au point A et la pesanteur sur le géoïde suivant la verticale passant par le point A . Or, il est impossible de mesurer la pesanteur sur le géoïde puisqu'elle se mesure sur le terrain. Pour palier à cette insuffisance, l'approche la mieux recommandée pour l'estimation de OC_{AB} est basée sur un processus itératif à partir des valeurs des altitudes H_A et H_B .

Par contre, il existe d'autres formes de correction orthométrique parmi lesquelles, on distingue celle énoncée dans (Roelse et al., 1971), laquelle est prise de (Rapp, 1961) qui propose l'équation ci-dessous permettant d'obtenir la correction dite « correction orthométrique normale » :

$$CO_{Norm.} = (A\bar{H} + B\bar{H}^2 + C\bar{H}^3)d\varphi \quad (12)$$

où $\bar{H}$ est la hauteur moyenne des deux points extrêmes de la traverse, $d\varphi$ est la différence de latitude géodésique et A , B , C sont des coefficients qui sont fonction de la latitude et du champ de pesanteur normale.

(Roelse et al., 1971) a constaté empiriquement que le coefficient C est négligeable. Ainsi, l'équation (12) se réduit à:

$$CO_{Norm.} = (A\bar{H} + B\bar{H}^2)d\varphi \quad (13)$$

où les coefficients A et B sont définis par (Rapp, 1961) :

$$A = 2 \sin 2\varphi \alpha' \left(1 + \cos 2\varphi \left(\alpha' - \frac{2K}{\alpha'} - 3K \cos^2 2\varphi \right) Q \right) \quad (14)$$

$$B = 2 \sin 2\varphi \alpha' t_2 \left(t_3 + \frac{t_4}{2\alpha'} + \cos 2\varphi \left(\frac{3}{2} t_4 + 2\alpha' t_3 - \frac{2Kt_3}{\alpha'} \right) \right) Q \quad (15)$$

où Q est égale à une minute d'arc exprimée en radian. Les termes α' , K , t_2 , t_3 , t_4 sont définis comme suit (Rapp, 1961): $\alpha' = \frac{\beta}{2+\beta+2\varepsilon}$, $= \frac{-2\varepsilon}{2+\beta+2\varepsilon}$, $t_2 = \frac{2(1+\alpha+c')}{\alpha(1+\frac{\beta}{2}+\varepsilon)}$, $t_3 = 1 - \frac{(3\alpha-2.5c')}{2}$ et $t_4 = 1 - t_3$.

Les constantes relatives au système géodésique *GRS80* sont (Moritz, 1980): le demi-grand axe $a = 6378137.0$ m, α est l'aplatissement (1/298.2572), $\beta = \frac{\gamma_p - \gamma_s}{\gamma_s} = 0.005302440112$, où γ_p et γ_s sont les pesanteurs normales au pôle et à l'équateur, respectivement. $\varepsilon = 0.000023462$ et $c' = 0.00344980143430$.

L'équation (12) peut s'exprimer sous sa forme simplifiée par (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2010):

$$CO_{Norm. app.} = -2\alpha \sin 2\varphi_m \left[1 + \left(\alpha - \frac{2\beta}{\alpha} \right) \cos 2\varphi_m \right] H d\varphi \quad (16)$$

où $\alpha = 0.002644$ et $\beta = 0.000007$. H représente l'altitude moyenne, φ_m la latitude moyenne et $d\varphi$ la différence en latitude entre le point de départ et le point d'arrivée de la dénivelée.

Enfin, la formule de la correction orthométrique normale dite classique, qui correspond au premier terme de l'équation (16), est donnée par:

$$CO_{classique} = -2H\alpha \sin 2\varphi_m d\varphi \quad (17)$$

En théorie, l'équation (4) s'intègre selon la pesanteur réelle (g). En intégrant avec la pesanteur normale (γ), il en résulte des corrections normales. Avec les équations (16 et 17), aucune correction n'est apportée si le nivellement est effectué le long d'un parallèle ($d\varphi = 0$). En appliquant des corrections normales aux altitudes, elles ne sont plus des altitudes orthométriques pures. Ainsi corrigées elles sont appelées altitudes orthométriques normales.

3.-Données utilisées

Le cheminement altimétrique considéré dans cette étude est celui fourni par le document (Allister and Featherstone, 2001) de *Geomatics Research Australasia*. Ce cheminement passant par la faille de *Darling* qui est l'une des plus longues et des plus significatives des failles d'Australie, s'étendant sur au moins 1 500 km et avec une orientation Nord-Sud et située près de la côte Ouest de la partie Sud de l'Australie-Occidentale (voir figure 2).

Cette faille représente une frontière géologique majeure séparant le craton ancien (*Yilgarn Craton*) à l'Est de la région plus jeune de l'orogénèse du *Pinjarra* (Australie) et surplombant le bassin de *Perth* datant du *Phanerozoïque* à l'Ouest. Dans la région de *Perth*, la faille de *Darling* coïncide avec la *Darling Scarp*, qui est l'escarpement abrupte immédiatement à l'Est de la ville de *Perth*, mais le relief a depuis été érodé sur le versant Est de la faille, laissant des formations de pieds de falaises connues sous le nom de *Ridge Hill Shelf*.

Le réseau utilisé est composé de 14 points déterminés par GPS et observés en gravimétrie, entre lesquels des mesures de nivellement ont été effectuées, définissant ainsi 13 traverses (voir figure 3). Les coordonnées géographiques des points du réseau et les valeurs de gravité observées correspondantes sont données respectivement par les tableaux 1 et 2.

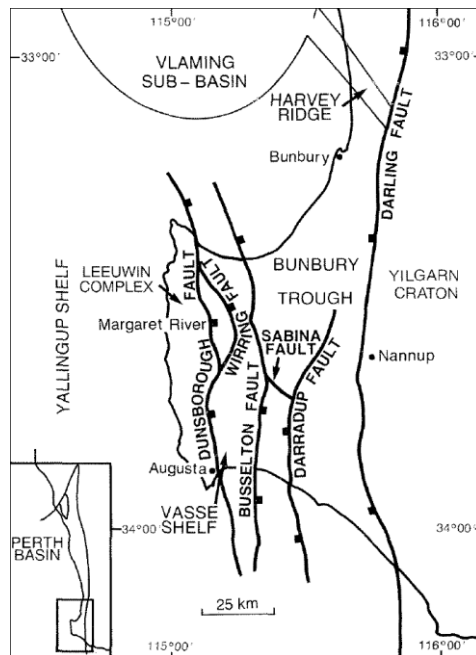


Figure 2 - Localisation et éléments tectoniques de la partie sud du bassin Perth (Iasky, 1993).

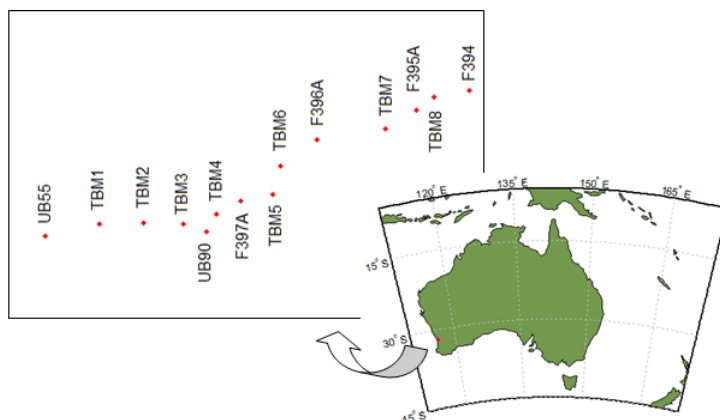


Figure 3 - Points du levé altimétrique.

Tableau 1 - Positions des points GPS ajustées ($\pm 10\text{m}$) et altitudes orthométriques.

Station	Latitude ($^{\circ}'''$)	Longitude ($^{\circ}'''$)	Altitude (m)	Ecart type (mm)
UB55	-31° 53' 30''	115° 59' 31''	9.8621	0.97
TBM1	-31° 53' 28''	116° 00' 27''	13.2307	0.82
TBM2	-31° 53' 35''	116° 01' 11''	15.7603	0.71
TBM3	-31° 53' 42''	116° 01' 51''	19.1607	0.71
UB90	-31° 53' 52''	116° 02' 12''	31.9878	0.87
TBM4	-31° 53' 39''	116° 02' 26''	36.9314	0.87
F397A	-31° 53' 32''	116° 02' 52''	52.2168	0.77
TBM5	-31° 53' 32''	116° 03' 25''	64.9713	0.92
TBM6	-31° 53' 09''	116° 03' 39''	88.5300	0.97
F396A	-31° 52' 53''	116° 04' 20''	111.4926	0.61
TBM7	-31° 52' 55''	116° 05' 31''	144.6019	0.51
F395A	-31° 52' 45''	116° 06' 05''	164.8648	0.41
TBM8	-31° 52' 37''	116° 06' 25''	174.7142	0.31
F394	-31° 52' 37''	116° 07' 01''	184.2782	0.00 (fixé)

Tableau 2 - Gravités mesurées et écarts types (les valeurs en gras indiquent que les mesures sont prises sur le bassin de Perth).

Station	Gravité observée (mGal)	Ecart type (mGal)
UB55	979392.465	0.103
TBM1	979401.468	0.106
TBM2	979412.097	0.092
TBM3	979426.944	0.072
UB90	979436.414	0.038
TBM4	979437.567	0.045
F397A	979438.982	0.036
TBM5	979440.256	0.033
TBM6	979435.870	0.035
F396A	979433.020	0.037
TBM7	979431.592	0.035
F395A	979428.236	0.039
TBM8	979426.418	0.036
F394	979426.556	0.037

La figure 4 montre l'allure du profil de la gravité observée le long du cheminement de ~ 14 km de nivellement qui traverse la faille de *Darling*. Elle représente également les valeurs de la gravité normale correspondantes, calculées en utilisant la formule de *Somigliana* pour les latitudes des repères observées par *GPS* et dont la précision est estimée à ± 10 m (tableau 1). Cela provoque une erreur dans l'estimation de la pesanteur normale de $\sim 0,01$ mGal (Moritz, 1980). La figure 4 illustre également l'écart entre la gravité observée et normale (anomalie de gravité sans correction d'altitude), qui est notamment exagéré sur la direction Est-Ouest du profil.

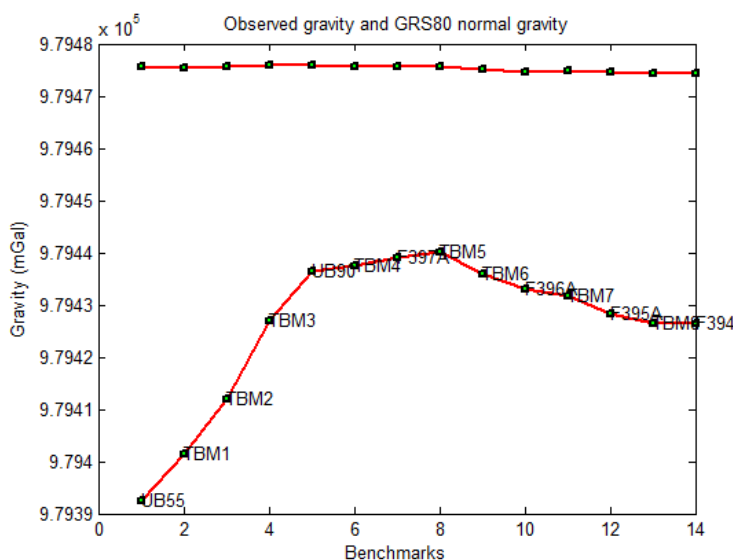


Figure 4 - Profils de la gravité observée (ligne courbe) et de la gravité normale GRS80 (quasi-ligne droite) le long du cheminement de nivellement sur la faille de *Darling*. La longueur totale du profil est ~ 14 km.

Les dénivelées mesurées entre les 14 points *GPS* sont données par le tableau 3.

Tableau 3 - Dénivelées observées.

Station 1	Station 2	Dénivelée (m)
UB55	TBM1	3.3687
TBM1	TBM2	2.5298
TBM2	TBM3	3.4006
TBM3	UB90	12.8274
UB90	TBM4	4.9437
TBM4	F397A	15.2855
F397A	TBM5	12.7546
TBM5	TBM6	23.5585
TBM6	F396A	22.9626
F396A	TBM7	33.1094
TBM7	F395A	20.2627
F395A	TBM8	9.8492
TBM8	F394	9.5642

4.-Résultats expérimentaux

Un programme informatique destiné pour le calcul de la correction orthométrique a été développés sous *Matlab*, qui est un langage de programmation évolué et est un environnement interactif, utilisé pleinement par la communauté scientifique pour : le développement des algorithmes, la visualisation et l'analyse de données, le calcul numérique, le traitement du signal et de l'image, les communications, les systèmes de contrôle et la finance informatique, etc. Ce programme utilise quatre approches pour le calcul de la correction orthométrique, qui sont : la correction orthométrique normale, normale approximative, classique et la correction orthométrique de Helmert. Ces formes de corrections sont détaillées dans la deuxième section (Méthodologie). Les étapes de déroulement du programme sont représentées par l'organigramme illustré par la figure 5. En raison de la petitesse de la quantité de la correction orthométrique, il y'a nécessité de représenter les valeurs avec plus de chiffres significatifs.

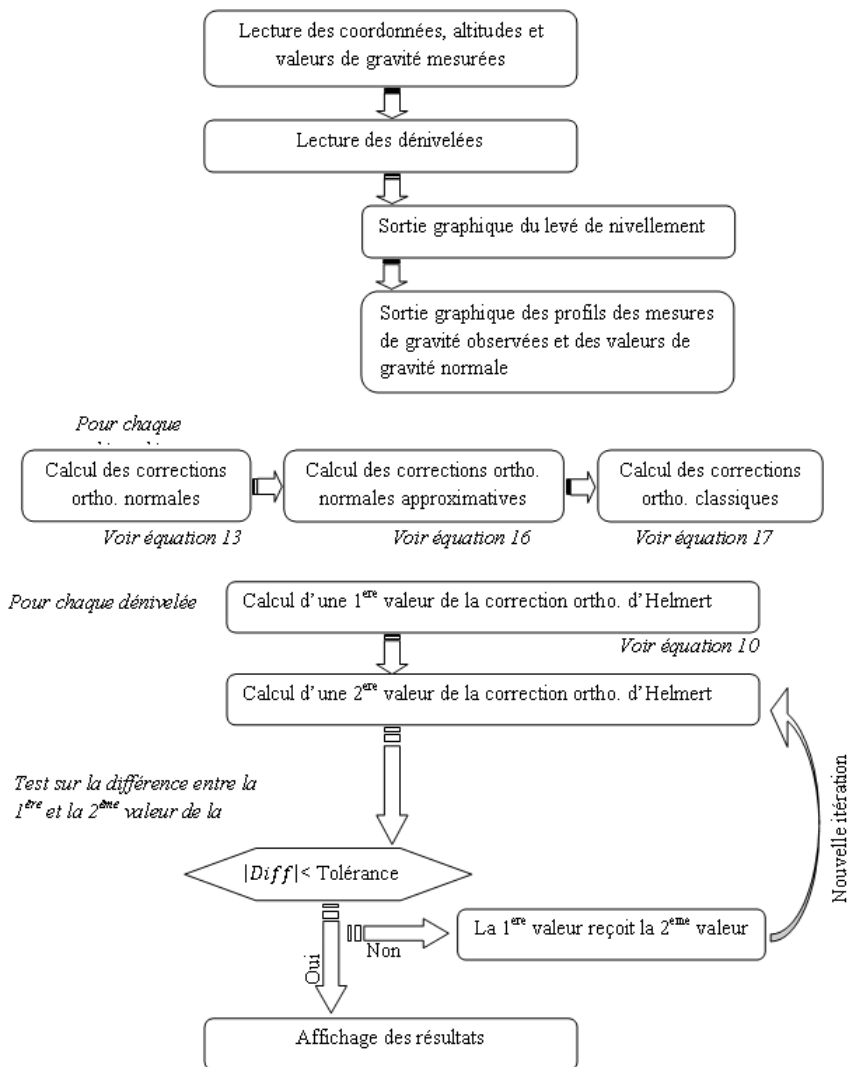


Figure 5 - Organigramme du programme destiné au calcul numérique de la correction orthométrique sous ses différentes formes.

Les corrections orthométriques normales issues du traitement introduisant principalement les données de latitude et d'altitude (indépendamment des mesures de gravité), sont résumées par le tableau 4. On remarque que les résultats obtenus sont quasiment identiques pour les trois approches de calcul, à savoir la correction orthométrique normale, normale approximative et classique. Ceci est dû au fait que le terme dominant dans l'estimation des deux premières corrections n'est autre que la valeur fournie par la forme classique.

Tableau 4 - Corrections orthométriques normales, normales approximatives et classiques.

Traverse	Dénivelée (m)	$d\phi$ (')	Correction orthométrique		
			Normale (mm)	Normale approx. (mm)	Classique (mm)
UB55 - TBM1	3.3687	0.0333	0.000531	0.000530	0.000531
TBM1 - TBM2	2.5298	-0.1167	-0.002334	-0.002331	-0.002334
TBM2 - TBM3	3.4006	-0.1167	-0.002811	-0.002808	-0.002811
TBM3 - UB90	12.8274	-0.1667	-0.005883	-0.005876	-0.005882
UB90 - TBM4	4.9437	0.2167	0.010305	0.010292	0.010304
TBM4 - F397A	15.2855	0.1167	0.007177	0.007168	0.007177
F397A - TBM5	12.7546	0.0000	0.000000	0.000000	0.000000
TBM5 - TBM6	23.5585	0.3833	0.040601	0.040551	0.040599
TBM6 - F396A	22.9626	0.2667	0.036801	0.036755	0.036799
F396A - TBM7	33.1094	-0.0333	-0.005889	-0.005882	-0.005889
TBM7 - F395A	20.2627	0.1667	0.035117	0.035074	0.035115
F395A - TBM8	9.8492	0.1333	0.030862	0.030824	0.030860
TBM8 - F394	9.5642	0.0000	0.000000	0.000000	0.000000
Σ	174.4169	0.8833	0.144476	0.144298	0.144468

L'estimation des corrections orthométriques de *Helmert* fait intervenir des mesures réelles de gravité, de dénivelées et d'altitudes. Le problème avec cette correction est qu'il faut faire l'approximation de la moyenne entre la pesanteur du point considéré et la pesanteur sur le géoïde suivant la verticale passant par ce point. De plus, cette dite correction dépend étroitement des altitudes des points extrêmes de chaque traverse. Pour palier à cette insuffisance, on a utilisé un calcul basé sur un processus itératif.

Le tableau 5 résume les résultats obtenus (convergeant après 2 itérations) pour les pesanteurs moyennes (point-géoïde) et les corrections orthométriques de *Helmert*. Les valeurs maximales de la correction de *Helmert* obtenues pour les deux traverses TBM2 - TBM3 et TBM3 - UB90 qui est de l'ordre de -0.27 mm (voir tableau 5), s'expliquent par le fait que ces deux traverses coïncident avec la faille de Darling.

La raison des petites corrections orthométriques de *Helmert* dans le tableau 5 est que l'équation (10) est plus sensible aux altitudes et aux changements d'altitudes, que par rapport à la gravité et sa variation (Kao et al., 2000; Heiskanen and Moritz, 1967; Strange, 1982). Dans la zone d'étude, l'altitude change de ~10 m à ~185 m (tableau 1), et les dénivelées mesurées sont de ~2 à ~34 m (tableau 3).

Tableau 5 - Corrections orthométriques de Helmert par intégration des données gravimétriques observées.

Traverse	Nbr. d'itér	$\bar{g}_A$ (mGal)	$\bar{g}_B$ (mGal)	Cor. Helmert estimée (mm)
UB55 - TBM1	2	979392.883	979402.029	-0.109
TBM1 - TBM2	2	979402.029	979412.765	-0.160
TBM2 - TBM3	2	979412.765	979427.756	-0.270
TBM3 - UB90	2	979427.756	979437.770	-0.276
UB90 - TBM4	2	979437.770	979439.133	-0.055
TBM4 - F397A	2	979439.133	979441.196	-0.123
F397A - TBM5	2	979441.196	979443.011	-0.141
TBM5 - TBM6	2	979443.011	979439.624	0.187
TBM6 - F396A	2	979439.624	979437.747	0.092
F396A - TBM7	2	979437.747	979437.723	-0.180
TBM7 - F395A	2	979437.723	979435.226	0.259
F395A - TBM8	2	979435.226	979433.826	0.170
TBM8 - F394	2	979433.826	979434.369	-0.174
Σ	-	-	-	-0.781

D'après les tableaux 4 et 5, on remarque que les corrections orthométriques de *Helmert* sont nettement différentes des corrections orthométriques normales. Ces différences apparaissent aussi bien dans les valeurs absolues que dans les valeurs algébriques : les signes algébriques (+/-) montrent que les corrections ne sont pas affectées dans le même sens. Cette différence traduit le fait évident que la correction orthométrique de *Helmert* exprime le non-parallélisme géométrique des surfaces équipotentielles. Ce qui n'est pas le cas pour les corrections normales où les surfaces équipotentielles sont théoriquement parallèles du fait qu'elles représentent un modèle de potentiel ellipsoïdique.

La correction orthométrique de *Helmert* correspondant à la dénivelée totale observée (de 174.42 m) entre le premier point UB55 et le dernier point F394 du cheminement est estimée à -4.845 mm (voir tableau 6). Elle est sensiblement différente de la quantité cumulée sur l'ensemble des traverses (-0.781 mm). Cette différence est particulièrement due à la discrétisation de l'intégrale et à la contribution de l'information gravimétrique le long du cheminement.

Tableau 6 - Correction orthométrique de Helmert entre les repères UB55 et F394, en utilisant les données gravimétriques observées.

Traverse	Dénivelée totale (m)	Normale (mm)	Helmert (mm)
UB55 - TBM1	174.4169	0.118	-4.845

5.-Conclusion

La pesanteur est un phénomène physique fondamental qui régit la forme de la terre. La différence de potentiel est indépendante du chemin suivi, alors que la somme des dénivelées cumulées déterminées par le procédé de cheminement altimétrique dépend du parcours suivi. En effet, le non-parallélisme des surfaces équipotentielles dû à la non-homogénéité de la densité de masse à l'intérieur de la terre ne permet pas d'avoir une dénivelée géométrique unique entre deux points de nivellement ce qui se traduit par le fait que la mesure géométrique dépend du chemin suivi.

Pour rendre les dénivelées indépendantes du parcours suivi, il faut introduire la correction orthométrique basée sur la pesanteur, qui permet de corriger ce non-parallélisme géométrique entre les surfaces équipotentielles. On obtient ainsi, une représentation physique de l'altitude.

Dans le cadre de cette étude, un programme de traitement informatique a été élaboré. Ce programme est dédié à la détermination numérique de la correction orthométrique normale sous ses trois formes, ainsi que celle de *Helmert* qui fait intervenir des mesures de gravité. Un jeu de données de nivellement, couvrant la région de Perth de l'Australie, a été utilisé afin de valider la fiabilité de ce programme. Les résultats obtenus du traitement informatiques sont concluants. Les corrections orthométriques de *Helmert* obtenues sont de l'ordre sub-millimétrique.

Références bibliographiques

- Allister N.A. and Featherstone W.E., 2001.- Estimation of Helmert orthometric heights using digital barcode levelling, observed gravity and topographic mass-density data over part of The Darling Scarp, Western Australia. *Geomatics Research Australasia*, vol. 75: 25-52.
- Bowie W. and Avers H.G., 1914.- Fourth General Adjustment of the Precise Level Net in the United States and the Resulting Standard Elevation, Special Publication No. 18, U.S. Coast & Geodetic Survey, Government Printing Office, Washington, D.C., 328 p.
- Heiskanen W.A. and Moritz H., 1967.- Physical Geodesy, W.H. Freeman and Co., San Francisco.

- Iasky R.P., 1993.- A structural study of the southern Perth basin, Western Australia., Geological Survey of Western Australia. Report, vol. 31, 56 p.
- Kao SP., Rongshin H., Ning FS., 2000.- Results of field test for computing orthometric correction based on measured gravity, Geomatics Research Australasia, vol. 72: 43-60.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2010.- Guide sur les référentiels géodésiques et altimétriques au Québec. https://www.mern.gouv.qc.ca/publications/territoire/outils/guide_sur_les_referentiels.pdf
- Moritz H., 1980.- Geodetic reference system 1980, Bulletin Géodésique, vol. 54: 395-405.
- Nocquet JM., Duquenne H., Boucher C., Harmel A., Willis P., 2000.- Conversion altimétrique RGF93-IGN69, Correction des altitudes GPS en France. Conseil National de l'Information Géographique - France. http://bazar.perso.free.fr/Files/Other/DOCUMENTATION/topo/conv_alti%20IGN93-RGF69.pdf. Accédé le 02 février 2015.
- Rapp RH., 1961.- The orthometric height, M.S. Thesis, Department of Geodetic Science, Ohio State University, Columbus, USA.
- Roelse A., Granger H.W., Graham J.W., 1971.- The adjustment of the Australian levelling survey 1970-1971, Technical Report 12, Division of National Mapping (now AUSLIG), Canberra, Australia.
- Strange W.E., 1982.- An evaluation of orthometric height accuracy using borehole gravimetry, Bulletin Géodésique, vol. 56: 300-311.



Modélisation et Étude de la GAS à Cage Utilisée dans la Conversion Éolienne

Khaled Ferkous¹, Amar Bentounsi², Farouk Chellali¹

1- Laboratoire d'automatisation appliquée et diagnostic industriel, Université Zian Achour, Djelfa, Algérie.

2- LEC, Département d'Electrotechnique, Université Mentouri- Constantine, Algérie.

E.mail: fer_mouaiz@yahoo.com

Résumé-

Le concept de développement durable a notamment conduit à l'émergence de ressources énergétiques « propres » et renouvelables. Leur part dans la production d'électricité, notamment l'éolien, n'a cessé de croître et d'offrir ainsi de nouvelles opportunités aux chercheurs pour la conception de systèmes de conversion et de stockage de plus en plus performants. La contribution de la présente communication dans ce domaine est de modéliser une chaîne de conversion éolienne de petite puissance dédiée à un site isolé afin de simuler son fonctionnement sous Matlab/Simulink. Le générateur électrique associé est de type asynchrone à cage vu son faible coût.

Mots clés : Eolienne, génératrice asynchrone à cage, mode autonome, modélisation, simulation, Simulink.

Modeling and Study of a self-excited induction generator (SIEG) Used in Wind Conversion

Abstract-

In the field of renewable energy, the goal of this paper is to model a wind generator using a self excited induction generator (SEIG) dedicated to a low power conversion in isolated site. The simulate results under Matlab/Simulink are presented and discussed.

Key words: Isolated mode, modeling, Self Excited Induction Generator, simulation, Simulink, wind turbine.

I. INTRODUCTION

La production d'électricité à partir de ressources fossiles ou fissiles a contribué à leur épuisement ainsi qu'à la dégradation de l'environnement. Le Sommet de la Terre de Rio de Janeiro (Brésil, 1992) a défini les grandes lignes d'un « développement durable » ; puis le protocole de Kyoto (Japon, 1997), portant sur la protection de l'environnement (réduction des gaz à « effet de serre »), a boosté l'utilisation de ressources énergétiques alternatives non polluantes [1,2].

C'est ainsi que la part des énergies renouvelables (EnR) n'a cessé d'augmenter, notamment la filière éolienne [3]. Dans ce contexte, la présente contribution se propose de modéliser les différents blocs (vent-turbine-multiplicateur-arbre-générateur-charge) d'une éolienne tripale de petite puissance destinée à alimenter un site isolé. Parmi les architectures de systèmes aérogénérateurs les plus courantes, nous avons opté pour une configuration de base utilisant une génératrice asynchrone à cage auto excitée (SEIG en anglais) travaillant en mode isolé (non connectée au réseau) car très attractive en terme de coût d'investissement [3,4]. Ce type d'aérogénérateur a fait l'objet de nombreuses études mais sans prise en compte de toutes les composantes de la chaîne de conversion [5-7].

L'originalité de ce travail se situe tant au niveau de la modélisation d'un système non-linéaire constitué de plusieurs entités énergétiques que de la souplesse de l'approche pour la simulation dynamique de l'ensemble de la chaîne sous environnement Matlab/Simulink.

II. MODÉLISATION DE L'EOLIENNE

La figure 1 indique trois blocs à modéliser [8] :

A. Bloc d'Entrée

Le vent est l'énergie primaire des aérogénérateurs. L'énergie cinétique contenue dans le vent (I) est transformée en énergie mécanique par la turbine (II) puis en énergie électrique par le générateur (III). C'est donc une variable importante à modéliser car la précision des simulations dépendra de la qualité de son modèle.

Le principe retenu consiste à générer une série temporelle de la vitesse du vent à partir d'un bruit en entrée. Pour ce faire, la vitesse du vent $v(t)$ sera décomposée en deux composantes :

- une composante turbulente du vent $v_T(t)$: c'est un processus aléatoire stationnaire qui ne varie pas avec la vitesse moyenne du vent ;

- une composante lente v_{moy} : c'est la moyenne de la vitesse du vent qui varie régulièrement sur de plus longues périodes dans un site donné (fig 2).

$$v(t) = v_{moy} + v_T(t) \quad (1)$$

L'aéroturbine filtre les fluctuations hautes fréquences. On reconstitue à cet effet un filtre passe-bas à la composante de turbulence afin que celle-ci reproduise une caractéristique plus proche de la réalité dont la fonction de transfert est donnée par [8] :

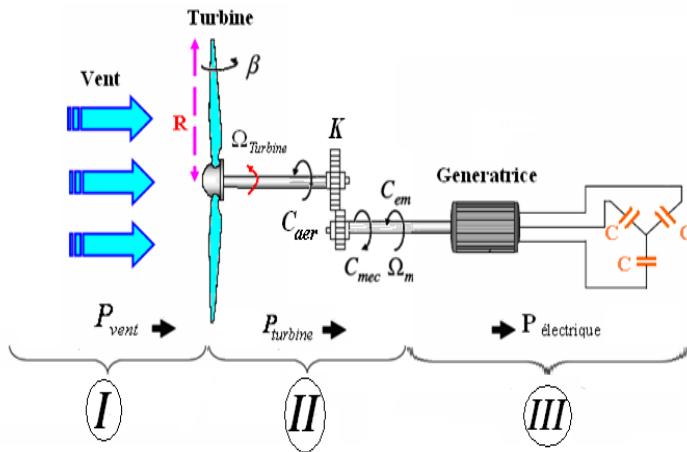


Fig. 1 : Schéma de l'éolienne à modéliser.

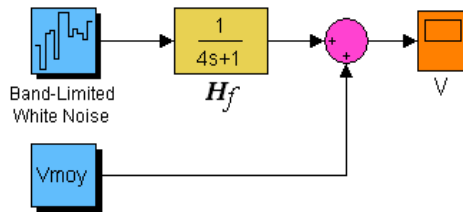


Fig. 2 : Synoptique de reconstruction du vent.

H_f donnée avec la formule suivante : (2)

$$H_f = \frac{1}{1 + \tau \cdot s}$$

La valeur de la constante de temps ($\tau = 4s$) dépend du diamètre du rotor, de l'intensité de turbulence du vent et de la vitesse moyenne du vent [8].

B. Bloc Mécanique Intermédiaire

Il s'agit des organes de transmission mécanique comprenant la turbine éolienne, le multiplicateur de vitesse et le rotor de la génératrice. La turbine éolienne étudiée est à axe horizontal tripale munie d'un système de régulation aérodynamique (variation de l'angle de calage des pales) pour contrôler sa vitesse par rapport à celle du vent [3]. Le multiplicateur adapte la faible vitesse de la turbine à celle du générateur qui tourne à 1500 tr /mn.

B.1 Modèle de la turbine

La puissance mécanique extraite du vent par la turbine éolienne est donnée par [3].

$$P_{vent} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 V^3 \quad (3)$$

Avec :

ρ : masse volumique de l'air (1,225 kg/m³)

R : rayon des pales (m)

V : est la vitesse du vent (m/s).

L'éolienne ne pouvant récupérer qu'une fraction de la puissance du vent, la puissance aérodynamique apparaissant au niveau du rotor de la turbine s'écrit alors :

$$P_{Turbine} = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 V^3 \quad (4)$$

Le coefficient de puissance C_p représente le rendement aérodynamique de la turbine éolienne. Il dépend de l'angle d'orientation des pales β et de la vitesse spécifique λ qui est le rapport entre la vitesse linéaire des pales et la vitesse du vent (voir Fig. 3) :

$$\lambda = \frac{R \cdot \Omega_{Turbine}}{V} \quad (5)$$

Pour notre exemple d'éolienne, le coefficient de puissance C_p est donné par la relation suivante [9] :

$$C_p = 0.22 \times \left(\frac{116}{\lambda'} - 0.4 \times \beta - 5 \right) e^{\frac{-12.5}{\lambda'}} \quad (6)$$

et

$$\frac{1}{\lambda'} = \frac{1}{\lambda + 0.08 \cdot \beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1}$$

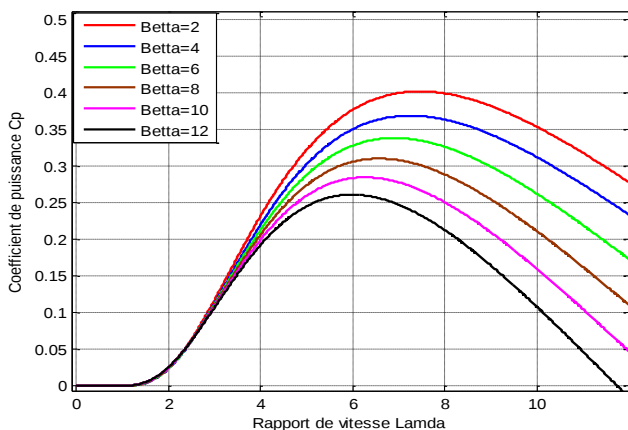


Fig. 3: Coefficient de puissance en fonction de λ (β).

Des courbes représentées Fig. 1 B, on a déduit le point de fonctionnement optimal ($\lambda = 7.38$, $C_p = 0.402$, $\beta = 2^\circ$) correspondant au maximum de la puissance mécanique récupérée. On peut déterminer la caractéristique puissance en fonction de la vitesse de rotation Ω_T , pour un vent de vitesse V donnée.

Le couple exercé par le vent sur la turbine (ou couple mécanique à la sortie de la turbine) est défini par :

$$C_{aer} = \frac{P_{Turbine}}{\Omega_T} \quad (7)$$

Avec

Ω_T : vitesse mécanique de la turbine.

On a ainsi élaboré le modèle Simulink de la turbine actionnée par le vent représenté (Fig. 4).

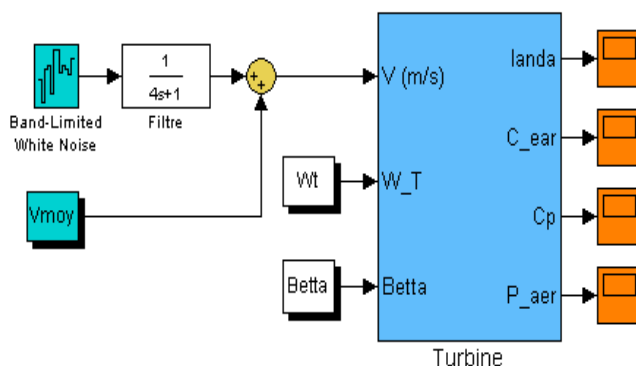


Fig. 4: Modèle de la turbine à vent développé sous Simulink.

B.2 Modèle du Multiplicateur

Le multiplicateur est la liaison entre la turbine et le générateur. Il est supposé rigide et modélisé par un simple gain. L'élasticité et le frottement du multiplicateur ont été négligés ainsi que les pertes énergétiques. Le couple mécanique de la turbine éolienne C_{aer} est divisé par le rapport de multiplication K pour obtenir le couple mécanique sur l'arbre du générateur :

$$C_{mec} = \frac{1}{K} C_{aer} \quad (8)$$

$$K = \Omega_{mec} / \Omega_T \quad (9)$$

(Ω_{mec} : vitesse angulaire du générateur (rad/s)).

B.3 Modèle de l'arbre

L'équation mécanique de rotation du groupe turbine-générateur est donnée par :

$$J \frac{d\Omega_{mec}}{dt} = C_T - f \cdot \Omega_{mec} \quad (10)$$

Avec :

J = inertie totale (turbine + générateur) en (Kg.m²)

f = coefficient de frottement visqueux

$C_T = (C_{em} + C_{mec})$ = couple totale de l'éolienne en (N.m)

C_{em} = couple électromagnétique du générateur en (N.m).

B.4 Bloc électrique de sortie

Le modèle de la génératrice asynchrone est déduit de la machine biphasée (transformation de Park). En travaillant dans un référentiel lié au champ tournant à la vitesse de synchronisme, les équations de la machine asynchrone s'écrivent ainsi :

$$\begin{aligned} L_s \frac{dI_{ds}}{dt} + L_m \frac{dI_{dr}}{dt} &= -R_s I_{ds} - V_{ds} \\ L_s \frac{dI_{qs}}{dt} + L_m \frac{dI_{qr}}{dt} &= -R_s I_{qs} - V_{qs} \\ L_m \frac{dI_{ds}}{dt} + L_r \frac{dI_{dr}}{dt} &= -\omega L_m I_{qs} - R_r I_{dr} - \omega L_r I_{qr} \\ L_m \frac{dI_{qs}}{dt} + L_r \frac{dI_{qr}}{dt} &= \omega L_m I_{ds} + \omega L_r I_{dr} - R_r I_{qr} \end{aligned} \quad (11)$$

$$C. \frac{dv_{ds}}{dt} = i_{ds} \quad C. \frac{dv_{qs}}{dt} = i_{qs}$$

Ce système peut être représenté sous forme matricielle

$$Lm \times [L1].[X] + [L2].[X] = [A1].[X] + \omega \times [A2].[X] + \omega \times Lm \times [A3].[X] \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 [L1] &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & [L2] &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 [A1] &= \begin{pmatrix} -R_s & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -R_s & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -R_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -R_r & 0 & 0 \\ 1/c & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/c & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & [A2] &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 [A3] &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & [X_0] &= \begin{bmatrix} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} ; & [X] &= \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \\ v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} ;
 \end{aligned}$$

Le couple électromagnétique de la machine asynchrone peut être exprimé par :

$$C_{em} = P.Lm.(I_{rd}.I_{sq} - I_{rd}.I_{sd}) \quad (13)$$

Le schéma bloc de la génératrice asynchrone GAS auto-excitée représenté (Fig. 5) est déduit des équations précédentes où les grandeurs :

- d'**entrée** sont les courants statoriques et rotoriques (à $t=0$) et les tensions statoriques (à $t=0$) qui représentent le champ rémanent et la vitesse mécanique ;
- de **sortie** sont les courants statoriques et rotoriques, les tensions statoriques et le couple électromagnétique.
- les tensions statoriques et le couple électromagnétique.

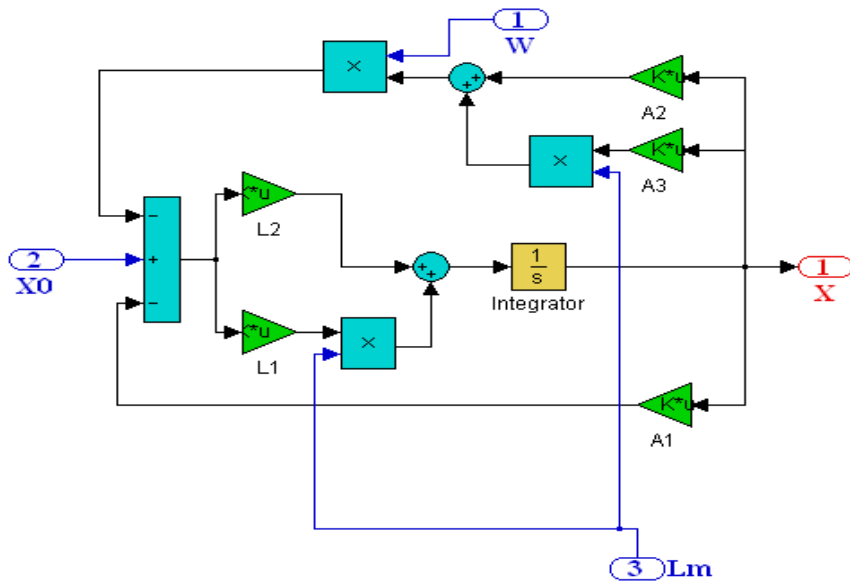


Fig 5 : Diagramme de la GAS déduit des équations d'état.

Les paramètres du système étudiés sont fournis par les tableaux 1 et 2 suivants [9].

TABLE 1 : PARAMETRES DE LA TURBINE ET DU MULTIPLICATEUR.

Diamètre du rotor	23.22 m
Nombre de pales	3
Densité de l'air	1.23 kg/m ³
Vitesse moyenne du vent	9 m/s
Angle de calage	2°
Constante de temps	4 s
Rapport vitesses	23,75
Moment d'inertie	102.8 kg.m ²
Coef. frottement visqueux	0.0024

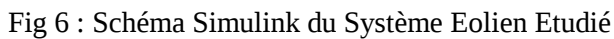


TABLE 2 : PARAMETRES DU GENERATEUR ASYNCHRONE TRIPHASE.

Nombre de paires de pôles	2
Moment d'inertie	4.5 kg.m ²
Résistance/phase stator	1.66 Ω
Résistance/phase rotor	2.74 Ω
Inductance de fuites stator	l=11.4 μH
Inductance propre stator	Ls=l+Lm
Inductance propre rotor	Lr=l+Lm

l'inductance magnétisante en régime non-linéaire est donnée en fonction de la tension de sortie V par l'expression analytique :

$$L_m = -1.56 e^{-11} V^4 + 2.44 e^{-8} V^3 - 1.19 e^5 V^2 + 1.42 e^3 V + 0.245 \text{ H} \quad (14)$$

III. RESULTATS DE SIMULATION

Les résultats de différentes simulations réalisées sous Matlab (Fig. 3) et Simulink (Fig. 7) sont conformes à la théorie et valides [7][9].

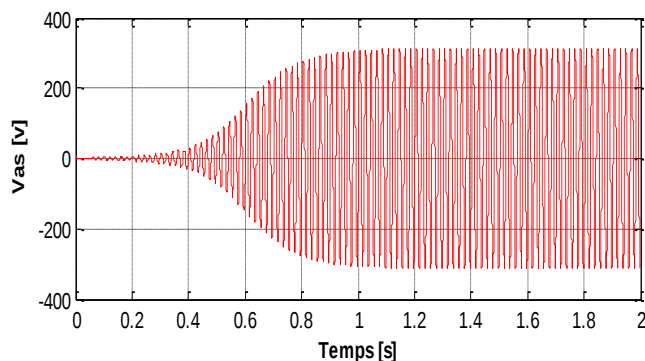


Fig 7 : Tension statorique sous MATLAB.

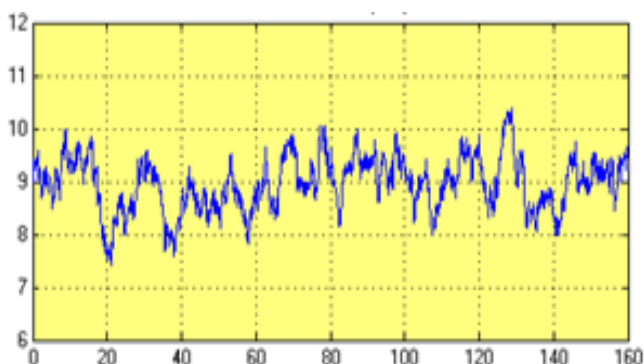


Fig 8 : Vitesse du vent sous Simulink.

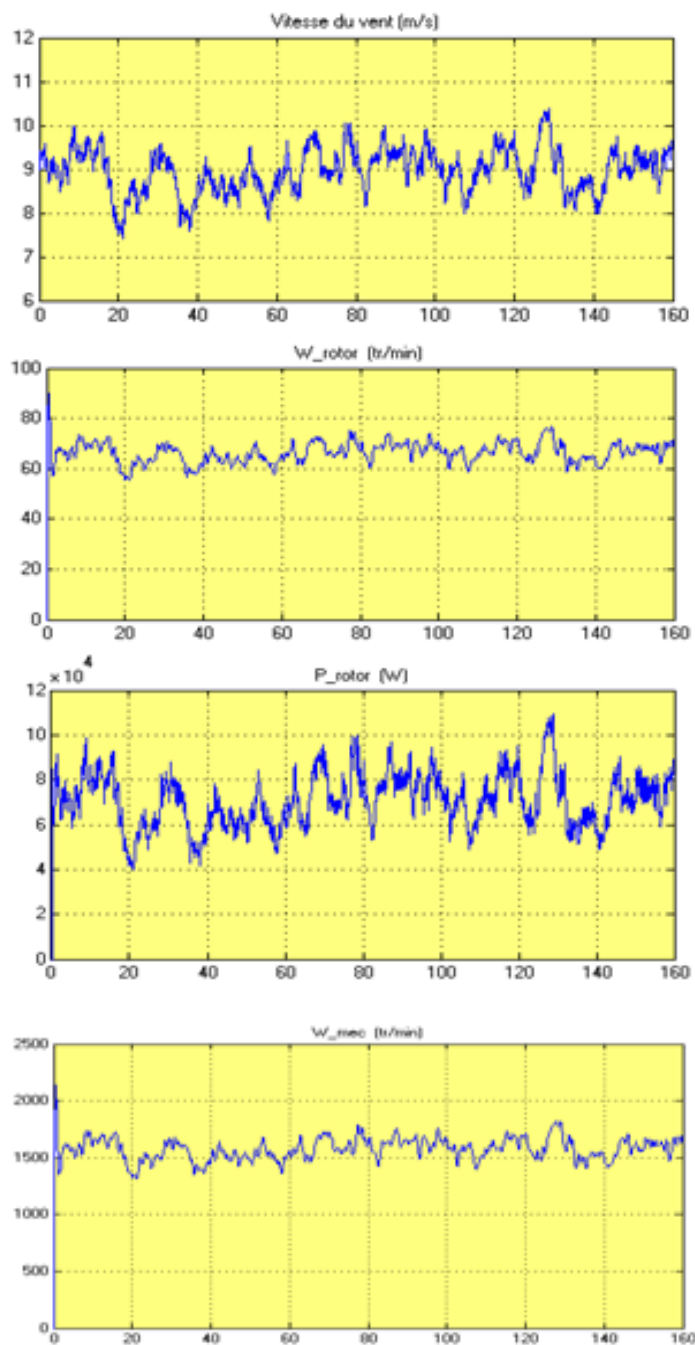


Fig 9 : Résultats de Simulation des Paramètres Aérodynamiques sous Simulink.

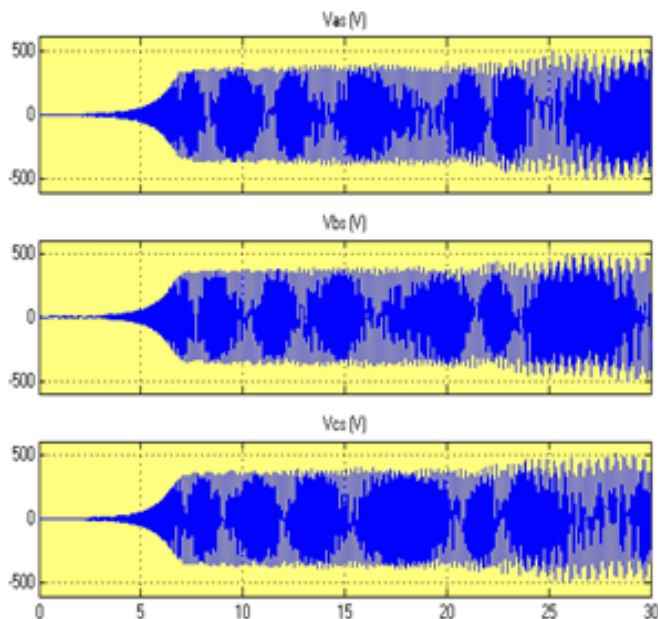


Fig 10 : Tension Statorique sous SIMULINK

IV. CONCLUSION

Ce travail a permis de modéliser tous les organes d'une éolienne tripale dédiée à un site isolé, utilisant une génératrice asynchrone triphasée à cage fonctionnant en mode autonome. Les variations de vitesse du vent ont été appliquées à un modèle de turbine donnant le couple en fonction de la densité de l'air, du coefficient de puissance, de la vitesse du vent et du rayon d'une pale. La vitesse de rotation de l'éolienne, calculée en fonction de l'inertie et du coefficient de frottements visqueux, est imposée comme référence. Les résultats ont montré une bonne corrélation entre les environnements *Matlab* et *Sumulink*.

V. REFERENCES

- [1] Multon, B. et al. « Consommation d'énergie et ressources énergétiques », Techniques de l'Ingénieur, D 3900, 11-2003.
- [2] Multon, B. et al. « Production d'énergie électrique par sources renouvelables », D 4005, et « Sources renouvelables d'électricité », D 4006, Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie Electrique.
- [3] Multon, B. et al. « Aérogénérateurs électriques », Techniques de l'Ingénieur, D 3960, 11-2004.
- [4] Multon, B. et al. « Le génie électrique dans le vent : état de l'art et recherches dans le domaine de la génération éolienne », JCGE'03, St-Nazaire, 5-6 Juin 2003.

- [5] Gurung K., Freere P., « Matlab symbolic computation for the steady state modeling of symmetrically loaded self-excited induction generator », Kathmandu University Journal of Science, engineering and Technology, Vol. I, N° III, January, 2007.
- [6] El Hafyani, M.L. et al., « Permanent and Dynamic Behaviors of Self-excited Induction Generator In balanced mode », M.J. Condensed Matter, Vol. 7, N° 1, January 1, 2006.
- [7] Seyoum. D, Grantham. C, and Rahman. F, « The dynamics of an isolated self-excited induction generator driven by a wind turbine», in Proc. IEEE IECON'01, Denver, CO, Dec. 2001, pp. 1364–1369.
- [8] Nesmat, A.T., « Stabilité dynamique des systèmes électriques multimachines : modélisation, commande, observation et simulation », Ecole Centrale de LYON, 19 Novembre 2008.
- [9] Sanae. R, Gilles. R, Denetiere. S et Mahseredjian J., « Modélisation de systèmes électromécaniques multi-masses à base de machines asynchrones, à l'aide des outils Matlab et EMTP, avec application aux éoliennes », Département de Génie Électrique, École Polytechnique de Montréal, EPM-RT-2004.



***In vitro* Evaluation de l'activité antimicrobienne des différents extraits de *Allium triquetrum* L., espèce algérienne spontanée**

Menacer A.^{1*}, Saidi F.¹ et Benhelal A.²

1-Laboratoire de biotechnologies, environnement et santé, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de biologie et physiologie cellulaire, Université de Blida 1, Algérie.

2- Laboratoire d'analyses médicales Ouled Yaiche Blida, Algérie.

E.mail: m.amel18@hotmail.com

Résumé

Le présent travail a pour but de valoriser une plante endémique à l'Algérie *Allium triquetrum* L., par l'évaluation de son pouvoir antibactérien et antifongique et la détermination du taux d'inhibition du développement des micro-organismes soumis aux différents extraits avec la méthode de diffusion sur milieu gélosé. Les jus frais (JB, JF), les infusés (IB, IF) et les extraits méthanoliques (EMB, EMF) des deux parties de la plante (bulbes B et feuilles F) ont été testés sur des souches microbiennes de référence ATCC (American Type Culture Collection). Les résultats révèlent la présence d'une bonne activité antibactérienne des extraits de la plante vis-à-vis les souches testées plus particulièrement sur les bactéries Gram-négative tel que *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli* qui étaient sensibles à tous les extraits testés. D'autre part, nous avons remarqué la sensibilité de toutes les souches bactériennes au JB avec des zones d'inhibition dépassant les 20 mm pour la plupart d'elles. Ces résultats étaient comparables à ceux d'antibiotiques témoins (chloramphénicol C et colistine méthane sulphonate CL). Les autres extraits sont à leur tour doués d'une activité antibactérienne non négligeable mais moins importantes par rapport aux jus et aux témoins (zones comprises entre 10 et 20 mm). En revanche, seuls le JB et JF qui ont présenté un pouvoir antifongique. Cette étude a montré qu'*Allium triquetrum* présente une activité antimicrobienne intéressante probablement liée aux composés soufrés de la plante.

Mots clés: *Allium triquetrum* L., extraits, souches bactériennes, activité antibactérienne.

***In vitro* evaluation of the antimicrobial activity of various extracts of *Allium triquetrum* L., Algerian spontaneous species**

Abstract

The present work aims to value an endemic plant of Algeria *Allium triquetrum* L. by evaluating its the antibacterial and antifungal power and determining the inhibition rate of development of the microorganisms subjected to various extracts with agar diffusion method. Fresh juices (JB, JF), infused (IB, IF) and methanolic extracts (EMB, EMF) from two parts of the plant (bulbs B and F) were tested on ATCC bacterial strains (American Type Culture Collection). The results reveal the presence of good antibacterial activity of the extracts of plant against the strains tested more particularly on the Gram-negative bacteria such as *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* which were sensitive to all the extracts tested. On the other hand, we noticed the sensitivity of all bacterial strains to JB with zones of inhibition exceeding the 20 mm for most of them. These results were comparable to those of control antibiotics (chloramphenicol C and colistin Methane sulphonate CL). The other extracts are in turn endowed with a non-negligible antibacterial activity but less important compared to the juices and the controls (zones between 10 and 20 mm). In contrast, only the JB and JF which exhibited antifungal power. This study showed that *Allium triquetrum* exhibits an interesting antibacterial activity probably related to the sulfur compounds of the plant.

Key words: *Allium triquetrum* L., extracts, bacterial strains, antibacterial activity.

1.- Introduction

Les *Allium* représentent le plus grand genre de la famille des liliacées et incluent plus de 450 espèces distribuées dans le nord de l'hémisphère [1]. Depuis des temps reculés, ces plantes sont utilisées pour leurs propriétés médicinales et culinaires [1,2]. Elles présentent diverses propriétés pharmacologiques (antimicrobienne, antivirale, antioxydante, anti-inflammatoire, hypotensives, hypo-glycémiantes, préventifs des problèmes cardiovasculaires et tumorales, etc.) [3], alimentaires et phytosanitaires, dues en majeure partie aux composés organo-soufrés comme l'alliine et l'allicine [4], mais aussi à d'autres molécules tel que les polyphénols et les flavonoïdes [5]. L'étude de la composition chimique ainsi que les effets biologiques de ces espèces, surtout les cultivées tel que l'ail et l'oignon, a fait l'objet de nombreux travaux scientifiques, mais rares sont les

travaux réalisées sur les espèces spontanées tel que *Allium triquetrum* L., une plante spontanée et endémique à l'Algérie.

La présente étude a pour objectif de valoriser cette plante pour la première fois sur le plan pharmacologique, précisément l'évaluation de ses effets antibactériens et antifongiques, afin de marquer la présence de nouvelles molécules antimicrobiennes naturelles à large spectre, et qui peuvent être une alternative aux antibiotiques courants, évitant ainsi les problèmes consécutives à leur utilisation fréquente et anarchique en particulier les résistances microbiennes.

2.- Matériel et méthodes

Matériel végétal

Allium triquetrum L. a été récoltée dans la région de la Mitidja (Blida-Algérie) dans la période de floraison (Mars - Mai 2013). Son identification a été effectuée au niveau du laboratoire de Biologie Végétale du département de Biologie à l'université de Blida 1 et au département de Botanique de l'Institut National d'Agronomie (INA) d'El Harrach. Les deux parties de la plante ont été séparées, lavées et coupées en petits morceaux puis séchées à l'abri de la lumière et à température ambiante (25 à 28°C). Le matériel végétal est enfin broyé pour obtenir une poudre fine.

Préparation des extraits à tester

Les extraits ont été préparés à partir de deux parties de la plante (bulbes B et feuilles F): les jus pur, les infusés et les extraits méthanoliques.

Les jus frais de bulbes (JB) et de feuilles (JF)

Les deux parties ont été soumises à la pression pour obtenir le jus ou l'eau métabolique. La préparation des jus est faite le jour même des expériences à cause de leur instabilité.

Les infusés (IB et IF)

Une quantité de 500 mg de la poudre de chaque partie de la plante ont été mis en infusion dans 100 ml d'eau distillée bouillante (100°C) pendant 15 minutes. L'infusion est refroidie et filtrée. Les deux extraits obtenus sont à raison de 5 mg/ml.

Les extraits méthanoliques (EMB et EMF)

Une quantité de 20 g de chaque partie de la plante sèche ont été extraits par le méthanol à l'aide du soxhlet. Le méthanol enrichi par les substances polaires est ensuite évaporé par un rotavapeur sous-vide (Laborota 4001-efficient Heidolph 2) pour obtenir des concrètes secs qui sont reprises dans l'eau physiologique stérile à raison de 5 mg/ml.

Les souches microbiennes

Les souches microbiennes (bactéries et levures) utilisées étaient de référence ATCC (American Type Culture Collection):

Bactéries: *Bacillus subtilis* ATCC 9372, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, *Escherichia coli* ATCC 8723, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Proteus mirabilis* ATCC 1187, *Streptococcus* sp. ATCC 1134, *Acinetobacter* sp. ATCC 272, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 1808, *Enterococcus* sp. ATCC 1915.1.

Levures: *Candida albicans* ATCC 24433 et *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 2601.

Ces micro-organismes ont été choisis pour leur pathogénicité et leur fréquence de contamination, à l'exception de *Saccharomyces cerevisiae* dont le choix a été pour confirmer l'activité antifongique de la plante.

Milieux de culture

Milieu TSA (Trypticase Soja Agar).

Milieu MH (Muller Hinton).

Milieu Sabouraud.

Antibiotiques Témoins:

Chloramphénicol (C) et colistine méthane sulphonate (CL).

L'étude de l'effet inhibiteur

Le protocole expérimental utilisé est validé par le laboratoire de microbiologie du centre de recherche et de développement CRD-SAIDAL d'El-Harrache. Son principe est tiré du titrage microbiologique de la pharmacopée européenne 2002. Il consiste à mettre en évidence une éventuelle activité antimicrobienne des extraits, en les mettant en présence

des germes testés, dont la concentration est ajustée à 10^7 - 10^8 ufc/ml (la densité optique D.O lue à 625 nm doit être comprise entre 0,08 et 0,10 [6]). Des disques de 6 mm (Biomérieux ref 54991) stérilisés sous une lampe UV et imprégnés de l'extrait à tester sont déposés sur la gélose ensemencée en nappe de souche à étudier. La diffusion de la substance imprégnée dans la gélose va permettre l'inhibition de la croissance des germes tout autour des disques, dans le cas d'une éventuelle activité antimicrobienne positive, qui se traduira après incubation par une auréole claire et distincte autour du disque appelée Halo ou zone d'inhibition. La lecture se fait par la mesure des diamètres des zones d'inhibition à l'aide d'un pied à coulisse.

3.- Résultats et discussion

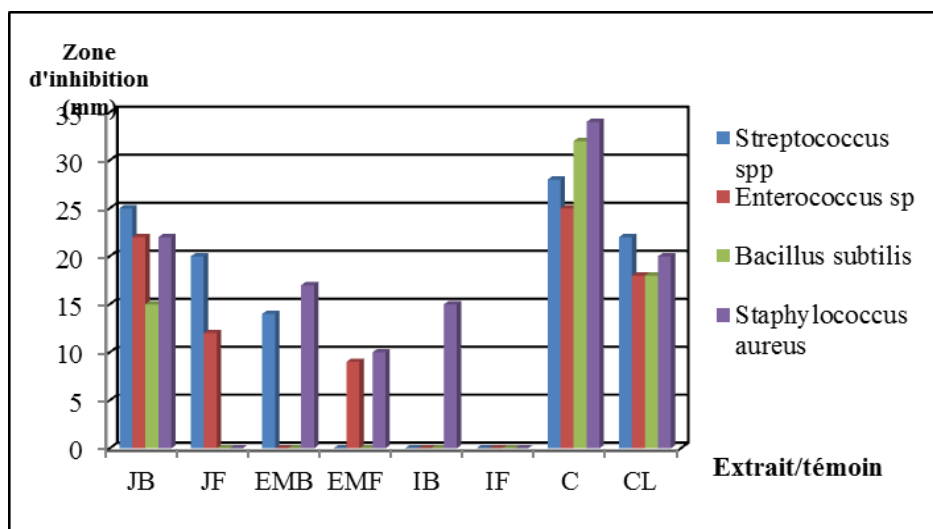


Fig.1. Effet antibactérien des extraits d'*Allium triquetrum* L. et d'antibiotiques témoins sur les bactéries Gram-positive.

Selon la figure 1, le JB présente une très bonne activité antimicrobienne vis-à-vis toutes les bactéries Gram-positive testées par rapport aux autres extraits avec des zones d'inhibition importantes et comparables à celles obtenues par les antibiotiques témoins (C et CL) qui sont supérieures ou égales à 15 mm. Le JB était plus puissant que CL sauf pour *Bacillus subtilis*. D'autre part, le JF était actif uniquement sur deux souches : *Streptococcus* sp. (20 mm) et *Enterococcus* sp. (12 mm). *Streptococcus* sp. et *Staphylococcus aureus* étaient sensibles à l'EMB, tandis que l'EMF a inhibé *Enterococcus* sp. et *Staphylococcus aureus*. En revanche, l'ensemble des souches testées résistent aux infusés, à l'exception de *Staphylococcus aureus* qui était sensible à l'IB et a présenté une zone d'inhibition égale à 15 mm. Selon Fujisawa et al. (2009), la sensibilité de la

plupart des bactéries Gram-positive aux extraits des espèces d'*Allium* est due à leur composition en diallyl disulfide, diallyl trisulfide et diméthyl trisulfide qui peuvent traverser la paroi de ces germes [7,8]. Une étude réalisée en 1970 a montré que *A. triquetrum* contient une large proportion de diméthyl disulfides et des proportions modérées de méthyl-n-propyl et méthyl allyl disulfides [9]. Ces composés peuvent être responsables de cet effet.

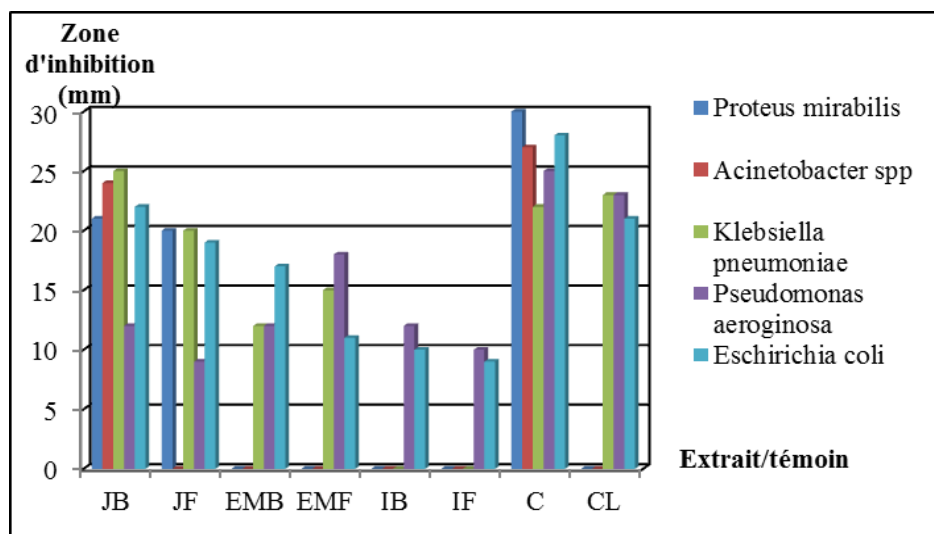


Fig. 2. Effet antibactérien des extraits d'*Allium triquetrum* L. et d'antibiotiques témoins sur les bactéries Gram-négative.

La figure 2, montre la présence d'un bon effet inhibiteur des extraits d'*Allium triquetrum* sur les bactéries Gram-négative, surtout les jus frais et pur qui ont inhibé le développement de toutes les souches testées à l'exception d'*Acinetobacter* sp. qui était résistante au JF. Les zones d'inhibition pour le JB étaient supérieures à 20 mm sauf pour *Pseudomonas aeruginosa* (< 15 mm). Les deux extraits méthanoliques étaient actifs sur les mêmes souches : *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli* (10 < Ø < 20 mm). Deux souches uniquement étaient sensibles aux infusés avec des halos d'inhibition très petits, il s'agit de *Pseudomonas aeruginosa* et d'*Escherichia coli*. Ces deux dernières étaient même sensibles à tous les extraits testés. *Acinetobacter* sp. a résisté au CL et à tous les extraits, en exceptant le JB et le C, tandis que *Proteus mirabilis* était sensible au JB, JF et au C. Les résultats de cette expérience concordent avec les résultats d'autres travaux qui montrent la plus grande activité inhibitrice des *Allium* sur les bactéries Gram-négative [10]. Selon la littérature [11,12], les sulfoxides et les thiosulfonates sont les molécules clés de cet effet chez la plupart des espèces d'*Allium*, et inhibent mieux le développement des bactéries Gram-négative par rapport aux bactéries Gram-positive. La paroi de ces micro-organismes peut affecter sur la perméabilité

des composés inhibiteurs. Différentes espèces d'*Allium* contiennent différents types et différentes proportions de sulfoxides, nommés l'alliine (S-allyl-L-cystéine sulfoxyde, AlCSO), l'isoalliine (S-1-propenyl-L-cystéine sulfoxyde, PeCSO), la méthiine (S-méthyl-L-cystéine sulfoxyde, MCSO) et la propiine (S-propyl-L-cystéine sulfoxyde, PCSO). La contenance en sulfoxides chez les *Allium* varie considérablement entre les espèces et différents échantillons de la même espèce [2,13]. *A. triquetrum* contient ces précurseurs avec les proportions suivantes : 43 - 56 % de méthiine, 21 - 31 % d'alliine, 19 - 26 % d'isoalliine et 0 - 4 % de propiine [14]. L'éminçage d'un tissu d'*Allium* comme l'ail active une enzyme appelée l'alliinase qui transforme l'alliine, le sulfoxide prédominant de l'ail, en une molécule plus active l'allicine. Cavallito et Bailey [15] étaient les premiers qui ont démontré que l'action antibactérienne de l'ail est surtout due à l'allicine. Ce composé retarde et inhibe partiellement l'ADN et les protéines de synthèse, tandis qu'il inhibe totalement et immédiatement la synthèse de l'ARN [16]. L'effet inhibiteur des infusés et des extraits méthanoliques est moins intéressant que celui des jus frais et pur de la plante. Cela est probablement dû à l'absence d'allicine ou à l'inactivation de l'allinase lorsque l'échantillon est traité par la chaleur. D'autre part, Siriponputikon et al. [17], confirment que l'ail frais possède la propriété antimicrobienne la plus élevée et à cause de la présence de l'allicine [18]. L'absence ou la diminution de l'effet antibactérien est probablement due à l'instabilité de ce composé à la chaleur ou à sa conversion en certaines formes moins actives [19].

Les résultats de l'activité antifongique sont montrés dans la figure 3. L'histogramme montre que seuls les jus de la plante qui ont présenté un pouvoir antifongique. Les deux levures testées étaient résistantes aux extraits méthanoliques et aqueux. Le JB étant le plus puissant et a présenté une zone de 26 mm sur *Candida albicans* et 30 mm pour *Saccharomyces cerevisiae*. Ce résultat était le meilleur pour le test antimicrobien. En revanche, le JF inhibe beaucoup plus la croissance de *Saccharomyces cerevisiae* (20 mm), et ne présente qu'une très faible activité antifongique sur *Candida albicans* ($\emptyset < 10$ mm).

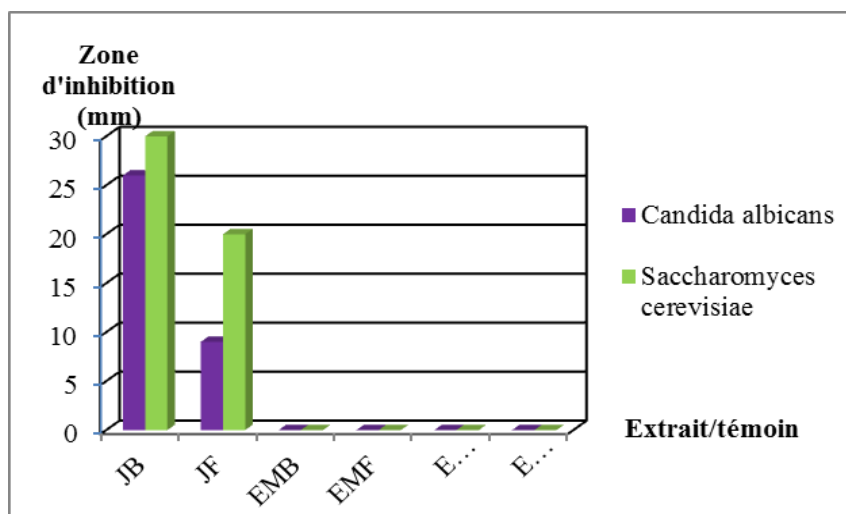


Fig. 3: Effet antifongique des extraits d'*Allium triquetrum* L. sur les levures. Selon Hunandana et al. (1946) et Yamada et Azuma (1977), l'activité antifongique chez les *Allium* est en général due à la présence d'alicine surtout sur *Candida*, *Cryptococcus*, *Trichophyton*, *Epidermo-phyton* et *Microsporum*. D'autres investigations, ont confirmé l'effet antifongique des thiosulfates [16], qui inhibent beaucoup plus le développement de *Candida albicans* et *Saccharomyces cerevisiae* à des concentrations de 20 à 30 mg/ml d'ajoène [20], tandis que leurs extraits aqueux inhibent ces levures et d'autres champignons à des concentrations de 2 mg/ml [21], mais le mécanisme d'action de ces molécules est mal élucidé. Certains travaux suggèrent que les composés soufrés inhibent la synthèse de l'ADN, l'ARN, les protéines et les polysaccharides aussi bien chez les bactéries que sur et les champignons et les levures [20].

4.- Conclusion

Au terme de ce travail, on peut conclure qu'*Allium triquetrum* L. est comme la plupart des espèces du genre *Allium* douée d'une forte activité antimicrobienne, surtout sur les bactéries Gram-négative, et qui est probablement due aux composés soufrés, comme les sulfoxides, les thiosulfates et leurs dérivés. Par ailleurs, une différence importante de cet effet était remarquable d'un extrait à un autre. Les jus frais et purs étaient plus puissants et actifs aussi bien sur les bactéries que sur les levures, à l'inverse des autres extraits testés qui étaient actifs uniquement sur les bactéries. La partie de la plante utilisée, le solvant et la méthode d'extraction peuvent influencer sur la stabilité, la concentration en molécules responsables et leur efficacité sur la croissance des germes. L'explication exacte de cette différence ne peut être assurée qu'avec une étude phytochimique approfondie, par l'étude de la composition chimique de

chaque extrait. Des analyses et des techniques performantes comme la LC-MS et la CG-MS permettent la recherche qualitative et quantitative des molécules bioactives et responsable de l'effet antibactérien et antifongique.

Références bibliographiques

- [1] Corea G, Fattorusso E, Lanzotti V, 2003. Saponins and flavonoids of *Allium triquetrum*. J Nat Prod 66:1405–1411.
- [2] Najjaa H, Zouari S, Arnault I, et al., 2011. «Différences et similitudes des métabolites secondaires chez deux espèces du genre *Allium*, *Allium roseum* L. et *Allium ampeloprasum* L.». Acta Bot. Gallica 158(1):111-123.
- [3] Goetz P. et al., 2012. *Allium sativum* L. (*Alliaceae*) : ail. Phytothérapie anti-infectieuse. Springer-Verlag France, Paris.
- [4] Auger J, Thibout E, 2002. Substances soufrées des *Allium* et des crucifères et leurs potentialités phytosanitaires. In : Biopesticides d'origine végétale, Ed Tec et Doc, pp 77- 95.
- [5] Meriga B, Mopuri R, MuraliKrishna T, 2012. Insecticidal, antimicrobial and antioxidant activities of bulb extracts of *Allium sativum*. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine 5(5):391-395.
- [6] Rahal K. et al., 2011. Standardisation de l'antibiogramme à l'échelle nationale.
- [7] Douiri L F, Boughdad A, Assobhei O et al., 2013. Chemical composition and biological activity of *Allium sativum* essential oils against *Callosobruchus maculatus*. J Envi Sci Toxicol Food Technol 3(1): 30-36.
- [8] Fujisawa H, Watanabe K, Suma K, et al., 2009. Antibacterial potential of garlic-derived allicin and its cancellation by sulfhydryl compounds. Biosci Biotechnol Biochem 73:1948-1955.
- [9] Bernhard RA, 1970. Chemotaxonomy: distribution studies of sulfur compounds in *Allium*. Phytochemistry 9:2019-2027.
- [10] Bakri LM, Douglas CWI, 2005. Inhibitory effect of garlic extract on oral bacteria. Arch. Oral. Biol. 50 (7): 645-651.
- [11] Perry CC, Weatherly M, Beale T, Randriamahefa A, 2009. Atomic force microscopy study of the antimicrobial activity of aqueous garlic versus Ampicillin against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. J Sci Food Agric, 89:958-964.
- [12] Kyung KH, 2012. Antimicrobial properties of *Allium* species. Food biotechnology, Current Opinion in Biotechnology, 23:142–147.
- [13] Hornickova J, Kubec R, Cejpek K, Velisek J, Ovesna J, Stavelikova H, 2010. Profiles of S-alk(en)yl cysteine sulfoxides in various garlic genotypes. Czech J Food Sci 28:298-308.
- [14] Fritsch RM, Keusgen M, 2006. Occurrence and taxonomic significance of cysteine sulphoxides in the genus *Allium* L. (*Alliaceae*). Phytochemistry : 67: 1127-1135

- [15] Ankri S, Mirelman D, 1999. Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes and Infection*, 2, 125–129.
- [16] Benkeblia N, Lanzotti V, 2007. *Allium* Thiosulfinates: Chemistry, Biological Properties and their Potential Utilization in Food Preservation. Global Science Books. Food 1(2), 193-201.
- [17] Siriponputikorn S, Thummaratwasik P, Huang YW, 2005. Antimicrobial and antioxidation effects of Thai seasoning, *Tom-Yum*. *LWT Food Sci Technol* 38(4):347–352.
- [18] Miron T, Rabinkov A, Mirelman D, Wilchek M, Weiner L, 2000. The mode of action of allicin: its ready permeability through phospholipid membranes may contribute to its biological activity. *Biochim Biophys. Acta* 1463 (1): 20-30.
- [19] Najaa H, Neffati M, Zouari S, Ammar E, 2007. Essential oil composition and antibacterial activity of different extracts of *Allium roseum* L., a North African endemic species. *C. R. Chimie* 10: 820-82
- [20] Nagawa R, Iwate N, Ishikawa K, Fukuda H, Fujini T, Suzuki A, 1996. Inhibition of microbial growth by ajoene, a sulfur-containing compound derived from garlic. *Applied and Environmental Microbiology* 62, 4238-4242.
- [21] Shams-Ghahfarokhia M, Shokoohamiria MR, Amirrajaba N, Moghadasia B, Ghajarib A, Zeinic F, Sadeghid G, Razzaghi-Abyanehd M., 2006. *In vitro*, antifungal activities of *Allium cepa*, *Allium sativum* and *ketoconazole* against some pathogenic yeasts and dermatophytes. *Fitoterapia* 77, 321-323.



Isolement et caractérisation partielle de deux souches d'*Amycolatopsis* à activité antifongique à partir de deux sols du nord algérien

Laassami Affaf¹, Benmoumou Sarra^{1,2}, Djemouai Nadjette^{1,3}, Berraf-Tebbal Akila^{1,2}, Yekkour Amine^{1,5}, Bouras noureddine^{1,4}, Sabaou Nasserddine¹ et Meklat atika^{1,2}

1- Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM), Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Algérie.

2- Département de Biologie et Physiologie Cellulaire, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Saad Dahleb, Blida, Algérie.

3- Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene Bab Ezzouar (USTHB), Algérie.

4- Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaïa, BP 455, Ghardaïa 47000, Algérie.

5- Centre de Recherche Polyvalent, Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie, Alger, Algérie

E.mail: atika_mek@yahoo.fr

Résumé-

Deux souches d'*Amycolatopsis*, Bm48 et Mg67, ont été isolées à partir du sol de deux régions du nord de l'Algérie: Boumerdès (36°44' Nord, 3°43' Est) et Mostaganem (36°00' Nord, 0°8' Est), respectivement. Ces souches ont été isolées par la méthode de suspension dilution sur le milieu chitine-vitamines agar additionné d'agents sélectifs, puis caractérisées macro- et micro-morphologiquement. Leurs activités antifongiques contre quatre champignons: *Aspergillus carbonarius*, *Fusarium culmorum*, *Phaeoacremonium aleophilum* et *Phaeomoniella chlamydospora* ont été évalués sur le milieu PDA semi-solide en utilisant la méthode des cylindres d'agar. Les deux souches Bm48 et Mg67 ont montré une forte activité contre *Phaeomoniella chlamydospora* avec une zone d'inhibition de 40 mm pour les deux souches.

Mots clés: *Amycolatopsis*, sol, champignons phytopathogènes, activité antifongique.

Isolation and partial characterization of two strains of *Amycolatopsis* with antifungal activity from two soils of the north of Algeria

Abstract-

Two strains of *Amycolatopsis*, Bm48 and Mg67, were isolated from the soil of two regions of the north of Algeria: Boumerdès (36° 44' North, 3° 43' East) and Mostaganem (36 °00' North, 0 ° 8' East), respectively. These strains were isolated by the dilution method on the chitin-vitamin agar medium supplemented with selective agents and then characterized on the basis of the macro- and micro-morphological criteria. Their antifungal activities against four fungi: *Aspergillus carbonarius*, *Fusarium culmorum*, *Phaeoacremonium aleophilum* and *Phaeomoniella chlamydospora* were evaluated on the semi-solid PDA medium using the cylinder agar method. The two strains Bm48 and Mg67 showed a strong activity against *Phaeomoniella chlamydospora* with a 40 mm zone of inhibition.

Key words: soil, *Amycolatopsis*, phytopathogen fungi, antifungal activity.

1.- Introduction

Les champignons sont des microorganismes eucaryotes qui peuvent causer de graves pathologies qui touchent l'homme, les animaux et les végétaux, parmi lesquelles on peut citer *Aspergillus carbonarius*, *Fusarium culmorum*, *Phaeoacremonium aleophilum* et *Phaeomoniella chlamydospora* qui provoquent des ravages et des dégâts pour les plantes, les produits agricoles et les denrées alimentaires (Fisher et al., 2012).

Devant le nombre restreint et le manque de molécules bioactives efficaces contre les infections fongiques et étant donnée que la source la plus utilisée afin de rechercher de nouvelles molécules efficaces est le milieu naturel particulièrement d'origine microbien, nous nous sommes intéressées par l'isolement de souches productrices de métabolites secondaires à partir d'écosystèmes peu ou pas exploités afin de découvrir des actinobactéries possédant un potentiel contre les infections d'origine fongiques (Donadio et al., 2002). Ces actinobactéries sont un groupe de bactéries à Gram positif possédant un pourcentage de GC supérieur à 55%, abondant et diversifié dans la nature et produisant presque un tiers des antibiotiques naturels (Newman et al., 2002).

Le genre *Amycolatopsis* a été décrit pour la première fois par Lechevalier et al. (1986), il appartient à la famille des *Pseudonocardiaceae* (Stackebrandt et al., 1997), et représente l'un des genres rares isolés à partir de sol de divers localités géographiques (Everest et al., 2013), du matériel

clinique (Huang et al., 2004), de végétaux (Duangmal et al., 2011), des grottes ainsi que les sédiments marins (Bian et al., 2009). Ce genre contient plusieurs souches productrices d'antibiotiques, particulièrement ceux qui synthétisent l'ansamycine (ex. rifampicine) et les glycopeptides (ex. vancomycine) (Zhao et al., 2010; Everest et Meyers, 2011).

Dans cette optique, l'activité antifongique contre quatre champignons phytopathogènes et/ou mycotoxinogènes de deux souches d'*Amycolatopsis* isolées à partir de sol de deux régions du nord algérien a été étudiée.

2.- Matériel et méthodes

2.1.- Echantillonnage

L'isolement des actinobactéries a été réalisé à partir de deux échantillons de sols durant le mois de Décembre 2016 et provenant de Boumerdès et Mostaganem. Ces échantillons sont prélevés aseptiquement, en surface de la terre (vingt premiers centimètres) et placés dans des sacs stériles scellés et conservés à 4°C jusqu'à utilisation.

2.2.- Isolement des actinobactéries

L'isolement a été réalisé par la méthode de suspension dilution (Rapilly, 1968), après un étalement sur le milieu chitine-vitamines agar (Hayakawa et Nonomura, 1987) additionné d'un agent antifongique (actidione à raison de 50 mg/l) et deux agents antibactériens (acide nalidixique à raison de 10 mg/l et la polymyxine à raison de 25 mg/l). Des aliquotes de 0,1 ml des dilutions de 10^{-1} à 10^{-3} ont été étalées sur le milieu utilisé à raison de deux essais par dilution. Les boîtes ensemencées sont incubées à 30 °C pendant 10 jours.

2.3.- Reconnaissance du genre *Amycolatopsis*

L'observation à l'œil nu et au microscope optique (grossissement $\times 10$ et $\times 40$) des colonies d'actinobactéries a permis la reconnaissance et la sélection du genre *Amycolatopsis*. La purification des deux souches nommées Bm48 et Mg67 a été réalisée sur le milieu International *Streptomyces* Project (ISP2) (Shirling et Gottlieb, 1966).

2.4.- Caractérisation morphologique, macroscopique et microscopiques des deux isolats d'*Amycolatopsis*

L'étude morphologique des deux isolats d'actinobactéries est effectuée sur les milieux ISP2 et ISP4.

L'étude macro-morphologique consiste à déterminer la couleur des mycélia aérien et du substrat, l'évaluation de la croissance ainsi que la présence des pigments diffusibles.

L'étude micro-morphologique est réalisée par l'observation des deux isolats après 12 jours d'incubation au microscope optique (Optika) à deux grossissements ($\times 10$ et $\times 40$) sur les deux milieux cités précédemment. Ces observations sont réalisées directement sur les boîtes de Pétri et ce pour étudier les mycélia sans altérer les structures en place. Elles consistent à voir également la sporulation caractéristique des souches sélectionnées ainsi que la fragmentation ou non du mycélium du substrat.

2.5.- Criblage de l'activité antifongique

Les deux souches sélectionnées sont ensemencées en stries serrées à la surface du milieu ISP2. Après 10 jours d'incubation à 30°C, des cylindres d'agar de 10 mm de diamètre sont prélevés et sont déposés à la surface du milieu Potato Dextrose Agar (PDA) semi-solide. Les boîtes de Pétri sont ensuite placées à 4°C pendant deux heures pour permettre une diffusion des substances secrétées par les actinobactéries puis elles sont incubées à la température de 30 °C pendant 48 heures. L'activité antifongique est évaluée par la mesure de la zone d'inhibition (en millimètre) entre la bordure de l'actinobactérie et celle des champignons cibles. Ces derniers proviennent de la collection du Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM) de l'Ecole National Supérieure (ENS) de Kouba d'Algérie.

3.- Résultats et discussion

3.1- Étude morphologique des deux isolats d'*Amycolatopsis*

Les deux isolats d'*Amycolatopsis* ont été reconnu premièrement à travers des observations à l'œil nu et au microscope photonique. Par la suite, ces isolats ont été étudiés de manière plus détaillée.

L'étude macro- et micro-morphologique effectuée sur les milieux ISP2 et ISP4 a montré que :

Ces deux souches sont caractérisées par une bonne croissance sur le milieu ISP2 et une croissance moyenne sur le milieu ISP4. La couleur du mycélium aérien varie du jaune grisâtre, blanc et beige blanchâtre; en revanche, le mycélium du substrat montre des couleurs différentes. Ces souches ne produisent pas des pigments diffusibles (Tableau 1). Le mycélium du substrat plus ou moins fragmenté et un mycélium aérien qui porte des filaments très longs, plus ou moins irréguliers et très fins. Ce dernier, se fragmente en bâtonnets et parfois en zig-zig. En plus, les chaînes

fragmentées sont longues et portent plus de 50 spores à peine visibles (Figure 1).

Tableau 1- Caractéristiques culturelles des deux souches d'*Amycolatopsis*.

Isolats d'actinobactéries	Milieux	Croissance	MA	MS	PS
Bm48	ISP2	++++	Jaune grisâtre	Brun moyen (+/- foncé)	–
	ISP4	++ à +++	Blanc	Jaune pâle à clair	–
Mg67	ISP2	+++ à ++++	Beige blanchâtre	Jaune	–
	ISP4	++ à +++	Beige blanchâtre	Beige	–
MA : Mycélium Aérien, MS = Mycélium du Substrat, PS = Pigments Solubles, – : absence du PS, ++ : croissance moyenne, +++ : bonne croissance, ++++ : très bonne croissance.					



Figure 1- Micromorphologie du mycélium aérien de l'isolat Bm48 après 12 jours d'incubation sur le milieu ISP2 observée au microscope photonique (G x40 avec effet de zoom).

3.2-Activité antifongique

Le résultat du screening de l'activité antifongique des deux isolats d'*Amycolatopsis* contre les champignons : *Aspergillus carbonarius*, *Fusarium culmorum*, *Phaeoacremonium aleophilum* et *Phaeomoniliella chlamydospora* est donné dans le tableau 2.

L'activité antifongique des deux souches isolées et purifiées a été mise en évidence par la technique des cylindres d'agar; une méthode de diffusion en milieu gélosé qui se prête mieux à la détermination de la sensibilité des souches microbiennes aux molécules antifongiques produites par les souches d'*Amycolatopsis* testées.

Tableau 2- Activité antifongique des deux souches d'*Amycolatopsis*.

Isolat d'actinobactéries	Zone d'inhibition (mm)			
	<i>Aspergillus carbonarius</i>	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Phaeomoniella aleophilum</i>	<i>Phaeomoniella chlamydospora</i>
Bm48	25	14	17	40
Mg67	16	0	20	40

Les deux isolats d'*Amycolatopsis* possèdent une activité antifongique intéressante contre *P. chlamydospora* avec une zone d'inhibition de 40 mm. La souche Bm48 a présenté une faible activité antifongique contre *F. culmorum* et *P. aleophilum* et une activité moyenne contre *A. carbonarius*. La souche Mg67 n'a montré aucune activité contre *F. culmorum* et une activité faible contre *A. carbonarius* et *P. aleophilum*.

Le genre *Amycolatopsis* comporte à l'heure actuelle 70 espèces (Euzéby, 2017) dont certaines sont une source riche de métabolites secondaires y compris quelques antifongiques cliniquement importants tels que l'octacosamicine produit par *A. azurea* (Dobashi et al., 1988), la rifamycine produite par *A. mediterranei* (Meja et al., 1997) et la vancomycine de *Amycolatopsis* sp. ST 101170 (Hopmann, 2002).

4. Conclusion

Récemment, un intérêt grandissant a été dirigé vers les genres rares notamment celui d'*Amycolatopsis*, car il fait partie des genres producteurs d'antibiotiques. Nos résultats indiquent que les isolats d'origine terrestre sont une source potentielle intéressante de substances antifongiques et que nos deux souches Bm48 et Mg67 possèdent une forte activité contre *P. chlamydospora* qui mérite une étude approfondie.

5. Références Bibliographiques

- BIAN J., LI Y., WANG J., SONG F.-H., LIU M., DAI H.-Q., REN B., GAO H., HU X., LIU Z.-H., LI W.-J. et Zhang L.-X., 2009.- *Amycolatopsis marina* sp. nov., an actinomycete isolated from an ocean sediment. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, vol. 59: 477-481.
- DOBASHI K., NAGANAWA H., TAKAHASHI Y., TAKITA T. et TAKEUCHI T., 1988.- Novel antifungal antibiotics octacosamicins A and B, II : the structure elucidation using various NMR spectroscopic methods. The journal of antibiotics, vol. XLI (11): 1533-1541.
- DONADIO S., MONCIARDINI P., ALDUINA R., MAZA P., CHIOCHINI C., CAVALETI L., SOSIO M. et PUGLIA A.M., 2002.- Microbial

technologies for the discovery of novel bioactive metabolites. *Journal of Biotechnology*, vol. 9: 187-198.

DUANGMAL K., MINGMA R., PATHOM-AREE W., THAMCHAIPENET A., INAHASHI Y., MATSUMOTO A. et TAKAHASHI Y., 2011.- *Amycolatopsis samaneae* sp. nov., isolated from roots of *Samanea saman* (Jacq) (Merr.). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, vol. 61: 951–955.

EUZÉBY J. P., 2013.- List of bacterial names with standing in nomenclature: a folder available on the Internet. [Last full update 23 October 2013]. <http://www.bacterio.cict.fr/>

EVEREST G. J. et MEYERS P. R., 2011.- Evaluation of the antibiotic biosynthetic potential of the genus *Amycolatopsis* and description of *Amycolatopsis circi* sp. nov., *Amycolatopsis equina* sp. nov. and *Amycolatopsis hippodromi* sp. nov. *Journal of Applied Microbiology*, vol. 111: 300-311.

EVEREST G. J., LE ROES-HILL M., OMOROGIE C., CHEUNG S.-K., COOK A. E., Goodwin C. M. et MEYERS P. R., 2013.- *Amycolatopsis umgeniensis* sp. nov., isolated from soil from the banks of the Umgeni River in South Africa. *Antonie van Leeuwenhoek*, vol. 103: 673–681.

FISHER M. C., HENK D. A., BRIGGS C. J., BROWNSTEIN J. S., MADOFF L. C., MCCRAW S. L. et GURR S. J., 2012.- Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, vol. 484: 186–194.

HAYAKAWA M. et NONOMURA H., 1987.- Humic acid–vitamin agar, a new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. *Journal of Fermentation Technology*, vol. 65: 501-509.

HOPMANN C., KURZ M., BRONSTRUP M., WINK J. ET LEBELLER D., 2002.- Isolation and structure elucidation of vancoremycin a new antibiotic from *Amycolatopsis* sp. ST 101170. *Tetrahedron Letters*, vol. 43(3):435-438.

HUANG Y., PAŚCIAK M., LIU Z., XIE Q. et GAMIAN A., 2004.- *Amycolatopsis palatopharyngis* sp. nov., a potentially pathogenic actinomycete isolated from a human clinical source. *Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, vol. 54: 359-363.

LECHEVALIER M. P., PRAUSER H., LABEDA D. P. et RUAN J.-S., 1986.- Two new genera of nocardioform actinomycetes: *Amycolata* gen. nov. and *Amycolatopsis* gen. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, vol. 36: 29–37.

MEJÍA A., BARRIOS-GONZÁLEZ J. et VINIEGRA-GONZÁLEZ G., 1998.- Overproduction of rifamycin B by *Amycolatopsis mediterranei* and its relationship with the toxic effect of barbitol on growth. *Journal of Antibiotics*, vol. 51(1): 58-63.

NEWMAN, D.J., CRAGG, G.M. ET SNADER, K.M., 2003.- Natural Products as sources of new drugs over the period 1981–2002. *Journal of Natural Products*, vol. 66: 1022–1037.

- RAPILY F.1968.- Techniques de mycologie en pathologie végétale. An. Epiphyties, vol. 19, numéro hors série.
- SHIRLING E. B. et GOTLIEB D., 1966.- Methods for characterization of *Streptomyces* species. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, vol. 16: 313-340.
- STACKEBRANDT E., RAINEY F. A. et WARD-RAINEY N. L., 1997.- Proposal for a 326 hierarchic system, *Actinobacteria* classis nov. International journal of systematic bacteriology, vol. 47: 479-491.
- ZHAO W., ZHONG Y., YUAN H., WANG J., ZHENG H., WANG Y., CEN X., XU F., BAI J. HAN X., Lu G., ZHU Y., SHAO Z., YAN H., Li C., PENG N., ZHAN Z., ZHANG Y., LIN W., FANY., QIN Z., HU Y., ZHU B., WANG S., DING X. et ZHAO G.-P., 2010.- Complete genome sequence of the rifamycin SV-producing *Amycolatopsis mediterranei* U32 revealed its genetic characteristics in phylogeny and metabolism. Cell Research, vol. 20: 1096-1108.



Congélation solaire par procédé thermochimique à partir d'une source thermique solaire basse température dans le sud Algérien

Nacer Hebbir¹, Hatem Ghodbane², Kamel Bouaraour³ et Bachir Borji¹

1- Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Université d'Oum el Bouaghi, Algérie.

2- Faculté des sciences et Technologie, Université de Biskra, Algérie.

3- Faculté des sciences et Technologie, Université de Ghardaïa, Algérie.

E.mail: habnacer@gmail.com

Résumé-

L'utilisation des énergies renouvelables comme source de chaleur montre un double avantage : limiter la pollution et réduire le coût du combustible.

Dans les dernières décennies, la demande du froid est en forte augmentation. Surtout dans les régions dépourvues du réseau électrique. L'une des applications est l'utilisation des machines frigorifiques à adsorption solaire, elles utilisent le couple gel de silice-eau, c'est dans cette perspective que s'inscrit ce travail, dans l'objectif est de réaliser et expérimenter un prototype à fonctionnement cyclique. Les résultats expérimentaux trouvés sont satisfaisante et peuvent construire une plateforme de recherche dans notre payé, dont le but est d'améliorer le rendement de l'installation expérimentale d'une part, et de maîtriser ce procédé de production de froid, mal exploité en Algérie, d'autre part.

Mots clés -

congélation solaire, adsorption, gel de silice.

Solar freezing by thermo- chemical process from a low-temperature solar thermal source in the south of Algeria

Abstract -

The use of renewable energy as a heat source shows a double advantage: reduce pollution and reduce the cost of fuel.

In recent decades, the application of cold is rising sharply. Especially in regions without electricity supply.

One application is the use of solar adsorption chillers. The use of silica gel water is the task which fits the objective to realize and experience a cyclically operating prototype.

The experimental results are found satisfactory and can build a research platform in our country, which aims to improve the performance of the test facility on one hand, and to master the cold sore production process operated in Algeria.

Keywords -

solar freezing, adsorption, water-silica gel

I. Introduction

L'utilisation de l'énergie solaire reste limitée, surtout dans les pays du sud, des problèmes liés à la maîtrise technologique de captation et à la transformation de cette énergie constituent un obstacle considérable à sa généralisation malgré sa disponibilité. Les avantages de ce type d'énergie ne sont plus à démontrer. Hormis, sa disponibilité et sa « gratuité », elle reste utilisable même dans les régions rurales ou sahariennes les plus isolées, et donc non raccordées au réseau électrique conventionnel.

Parmi les procédés de transformation thermique de l'énergie solaire,

la réfrigération solaire. Le froid produit servira à la climatisation des locaux et au stockage des denrées alimentaires et des produits pharmaceutiques.

L'Algérie est un pays où le potentiel solaire est très important particulièrement dans les régions du sud. Avec l'accroissement de la population et le développement des infrastructures industrielles, surtout pétrolières, les besoins en froid (positif et négatif) sont en forte augmentation.

Il reste donc à exploiter d'une façon raisonnable ce potentiel solaire afin de limiter le recours aux énergies classiques.

Plusieurs procédés de production de froid par énergie solaire sont disponibles [1]. Les procédés thermochimiques, à absorption ou adsorption sont les plus utilisés [2, 3, 4]. Leur principe est simple : Il repose sur la solubilité d'un gaz, ou d'un solide, dans un liquide qui est fonction de la pression et de la température [5]. C'est un domaine de recherche très vaste et qui nécessite d'importants moyens expérimentaux et de calcul. Il est à signaler aussi, que le marché du solaire est très promoteur pour les années à venir. Les grandes entreprises internationales sont en concurrence pour le développement de machines avec un prix raisonnable du kW.

Plusieurs travaux dans le domaine de réfrigération solaire par adsorption ont été réalisés [6, 7, 8]. C'est dans cette perspective que s'inscrit ce travail dont l'objectif est de concevoir, étudier la faisabilité et expérimenter un procédé de sorption solide/gaz permettant une production de froid inférieure négatif en utilisant une source thermique à bas niveau de température (de

l'ordre de 60 à 70°C) dans le site de Biskra. L'originalité de ce travail est de réaliser une installation plus simple que possible, en utilisant des éléments déjà disponible dans le marché national à savoir le condenseur à air fabriquer par ENIEM à Bordj Bou Arreridj, les plaques entrant dans la réalisation de la chambre froide produite par le groupe Rahmani à M'Sila.

II. L'Adsorption

1. Définition : l'adsorption est le phénomène général résultant de l'interaction modérée entre un solide, l'adsorbant, et un gaz. S'il s'agit, comme ici, d'adsorption physique, le gaz garde son identité, même s'il perd quelques degrés de liberté.

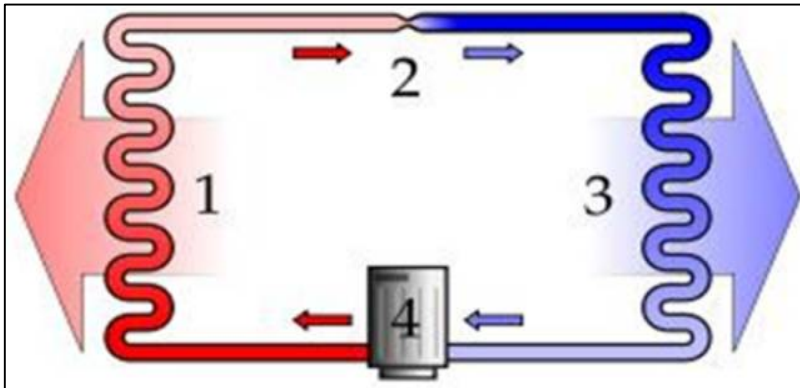


Fig.1 : Machine frigorifique à adsorption

1- Condenseur ; 2- Détendeur ; 3- Evaporateur ; 4- Compresseur.

On peut considérer tous solide comme adsorbant, alors que seules ceux qu'ils ont une surface spécifique supérieure à $100 \text{ m}^2/\text{g}$, peuvent être utilisés dans la production du froid [9]. On peut utiliser comme adsorbant:

- **Charbon actif** : Fabriquer généralement à partir du bois, du charbon, de la noix de coco, etc..., par un traitement thermique allant jusqu'à 1000°C pour créer la microporosité [10]. Cet adsorbant est disponible dans le marché algérien mais malheureusement avec un prix très élevé (14000DA/kg).

- **Gel de silice** : Ou silica-gel est un hydroxyde de silicium $\text{Si}(\text{OH})_4$ polymère d'acide silicique préparé à partir de silicate de sodium [10]. On a opté pour cet adsorbant vu la quantité d'eau qu'il peut adsorber (à une pression de vapeur d'eau proche de la saturation (400g/kg), sa disponibilité dans le marché national avec des prix très intéressants (14000DA/ kg) présente un autre avantage.

2. Les Fluides frigorigènes utilisés dans le froid solaire

Les frigorigènes sont des substances qui évoluent dans les systèmes frigorifiques dont leur rôle est d'assurer le transfert de chaleur entre la source froide et la source chaude.

Pour les systèmes de production de froid par adsorption ou réaction chimique, un nombre important de couples peut être choisi [11]. De même, dans le domaine de l'adsorption, une étude a montré que le nombre de fluide possible s'élevait à 40 environ et les adsorbants à 200. Les couples peuvent être classés en fonction du gaz choisi.

3. Choix du couple :

Le couple réfrigérant-adsorbant a une grande importance sur l'efficacité des machines frigorifiques solaires à adsorption, à ce stade l'adsorbant doit être choisi selon, sa conductivité thermique : pour avoir un bon transfert de chaleur dans l'adsorbant [12, 13, 14, 15].



Fig. 2 : Gel de silice.

- Sa surface d'adsorption : elle doit être grande.
- Sa disponibilité : c.à.d. disponible dans le marché avec des prix raisonnables.

4. Principe de la réfrigération solaire par adsorption

Une machine frigorifique solaire à adsorption fonctionne en circuit fermé. Elle est constituée d'un capteur plan contenant l'adsorbant et jouant un double rôle (captation et dégagement de la chaleur). Il est relié à un condenseur et à un évaporateur. Le principe de fonctionnement de ces machines repose sur les phénomènes de sorption - désorption d'un gaz dans un solide. Cette réaction chimique est exo ou endothermique suivant son sens de déroulement.

Le fonctionnement de la machine peut être divisé en quatre phases : chauffage, désorption, refroidissement et l'adsorption-production du froid [16].

a. Chauffage (du 7h au 10 h)

Le rayonnement solaire chauffe le capteur- adsorbeur qui va à son tour chauffer l'adsorbant. La pression de vapeur et la température de système augmentent progressivement. C'est la phase transitoire de montée en température [17, 18].

b. Désorption (du 10h au 17h)

La pression de saturation correspondant à la température du condenseur est maintenant atteinte. Les vapeurs se condensent dans le condenseur et s'écoulent vers l'évaporateur [17, 18].

c. Refroidissement (du 17h au 19h)

Lorsque l'ensoleillement diminue, le capteur se refroidit. La pression diminue dans le système jusqu'à la valeur correspondant à la pression d'évaporation à la température de la chambre froide [17, 18].

d. Adsorption- production du froid (du 19h au 07h)

Le système continue son refroidissement, essentiellement par convection naturelle à travers la partie « radiateur » du capteur, et qui fait l'objet de cette étude. L'adsorbant se trouve physiquement en déséquilibre et va se recharger en adsorbant la vapeur continue dans le système.

Cette vapeur est produite par évaporation du liquide se trouvant dans l'évaporateur. Cette opération produit l'effet frigorifique désiré. Le liquide en se vaporisant, emprunte de la chaleur au milieu à refroidir (intérieur de la chambre froide) : C'est la phase active de la machine [13, 14].

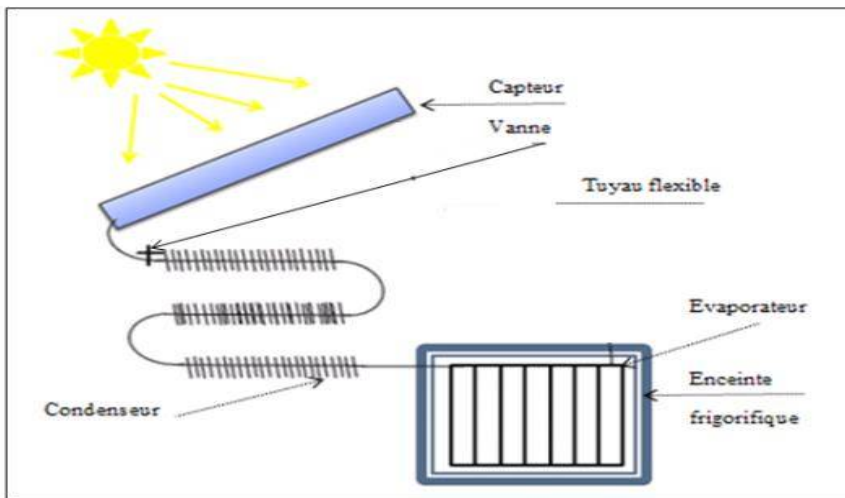


Fig. 3 : Schéma de principe d'une machine frigorifique solaire à adsorption : phase de chauffage

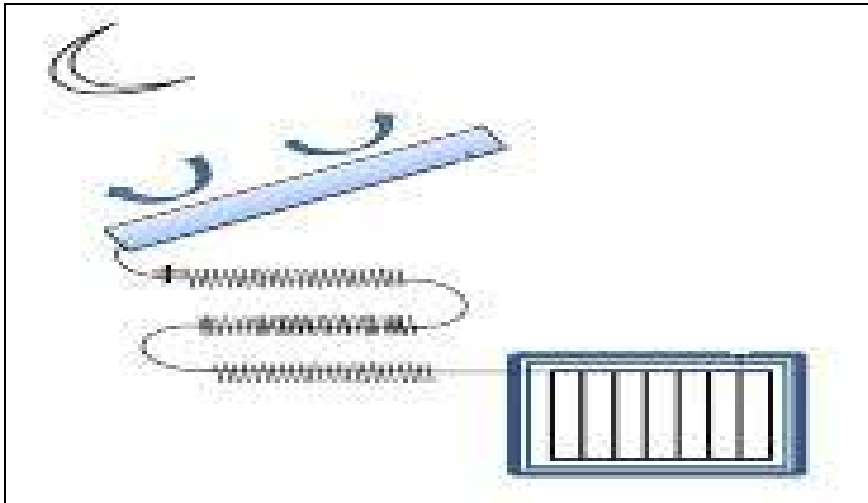


Fig.4 : Schéma de principe d'une machine frigorifique solaire à adsorption : Phase de production du froid.

III. Description de l'installation expérimentale

Le prototype de la machine frigorifique solaire à adsorption que nous avons fabriqué dans le département de génie mécanique à l'université Mohamed khider de Biskra utilise le couple gel de silice – eau, on a opté pour ce choix, vu la disponibilité et le cout du gel de silice dans le marché algérien.

Il se compose d'un capteur solaire, d'un condenseur et d'une chambre froide contenant l'évaporateur.

1. Le Capteur :

Le capteur est un parallélépipède de côté : 10 mm X 85 mm X 85 mm. Il est construit par des tôles d'aluminium d'épaisseur 1.5 mm, qu'on a utilisé pour la première fois dans le domaine de froid solaire, on tenant compte du prix très élevé des tôle de cuivre malgré son efficacité, rempli d'un lit de gel de silice, le tous à l'intérieur d'un boîtier en bois, une grande importance est donnée à l'étanchéité par l'utilisation de la silicone afin de limité toute perte.

2. Le Condenseur :

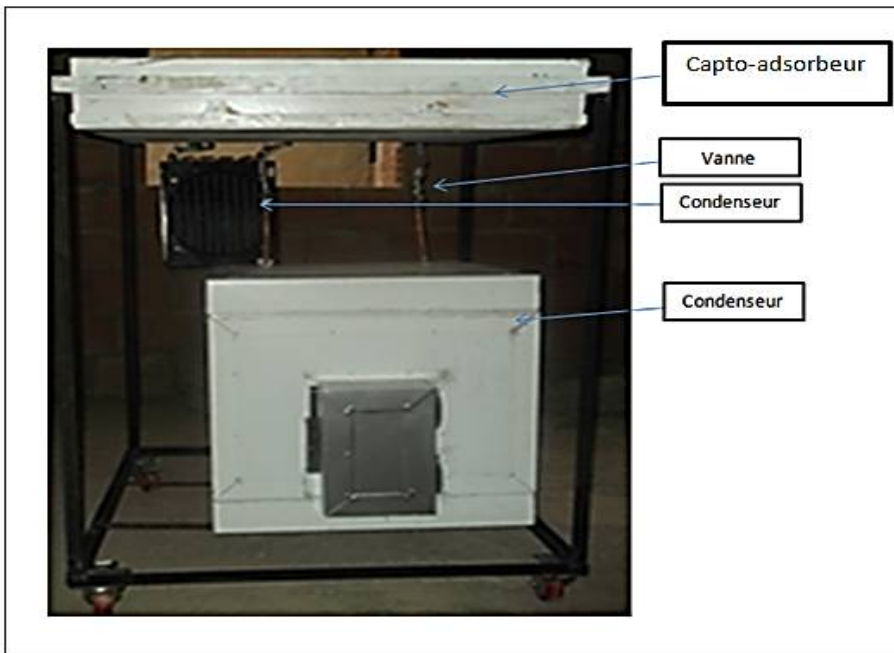
Est un échangeur de chaleur qui sert assurer la condensation. Le condenseur à air utilisé dans l'installation expérimentale est disponible dans le marché algérien avec un prix très raisonnable d'environ 4500 DA , on a opté pour ce choix pour minimiser le cout ainsi le temps de fabrication du prototype expérimentale.

3. La chambre froide :

C'est un parallélépipède de côté 45cm X45 cmx45cm, construit par des Panneaux Sandwich monobloc, avec deux tôles métalliques isolés par une couche de mousse polyuréthane, de portance élevée et d'une grande rigidité. Ces panneaux sont disponible dans le marché algérien, fabriqué par une entreprise situé à M'sila (Algérie).

Il est noté ici qu'une étude de plusieurs chambre de froides construites par plusieurs matériaux a donné l'avenage à ces panneaux, afin de minimiser les pertes thermique entre l'intérieur du chambre et l'ambiant.

A l'intérieur de la chambre froide on trouve l'évaporateur, c'est un petit



serpentin en cuivre de diamètre 12 mm et d'épaisseur de 1.6 mm.

Fig. 5: photo de l'installation expérimentale

4. Résultat expérimentaux

Le fonctionnement de notre machine frigorifique solaire à adsorption se résume en deux cycles :

a. Cycle diurne :

Le soleil chauffe l'adsorbant situé en dans le capteur se qui favorise la réaction endothermique de désorption, dans ce cas la pression augmente et la vapeur d'eau produite se condense.

b. Cycle nocturne :

Dans ce cycle et à cause de l'ouverture de la plaque arrière du capteur, l'adsorbant se refroidit et perd de la pression, l'énergie extraite de l'évaporateur favorise cette réaction exothermique et donc la production du froid.

5. Analyse des résultats

Afin de permettre la prise et l'analyse des résultats, des thermomètres digitaux sont fixés sur le capteur, le condenseur et l'enceinte frigorifique contenant l'évaporateur, pour mesurer les différentes températures, la limite de nos moyens nous a obligés de faire un grand effort pour enregistrer quelques résultats. Parmi les résultats obtenus, ceux des journées 01, 24, 27 et 30 mars 2015. Nous présenterons les températures enregistrées expérimentalement sous forme de courbe, on remarque les températures du condenseur et la température ambiante ont presque la même valeur, alors que la température du capteur atteint des valeurs énormes de l'ordre de 90 °C.

Pour la production du froid et malheureusement une seule séquence qui a donné des résultats satisfaisants la journée du 01 mars 2015), la valeur de la température dans la chambre froide n'a pas pu s'éloigner du zéro, alors que dans les autres séquences cette température a atteint malheureusement des valeurs positives, on a soupçonné pour la première fois qu'il y a des pertes à travers les parois de la chambre froide, mais avec le temps on a découvert que l'installation travaille sous vide donc le dégazage du circuit doit se refaire, on a remarqué aussi qu'il y a des fuites dues à une mauvaise soudure du capteur.

A la fin on peut dire que le prototype réalisé, avec les résultats expérimentaux trouvés constitue une vraie plateforme de recherche pour le futur de ces machines, l'amélioration de cette installation ou la réalisation d'autre congélateur sera l'objectif de nos futures recherches.

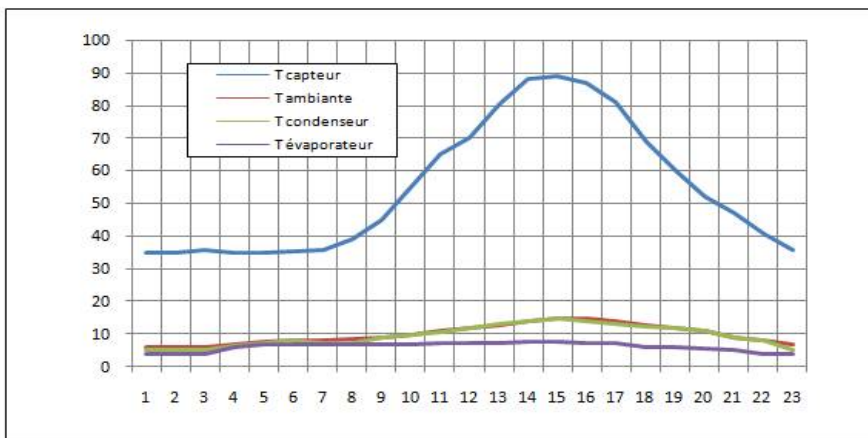


Fig. 6. Températures enregistrées journée du 01 mars 2015

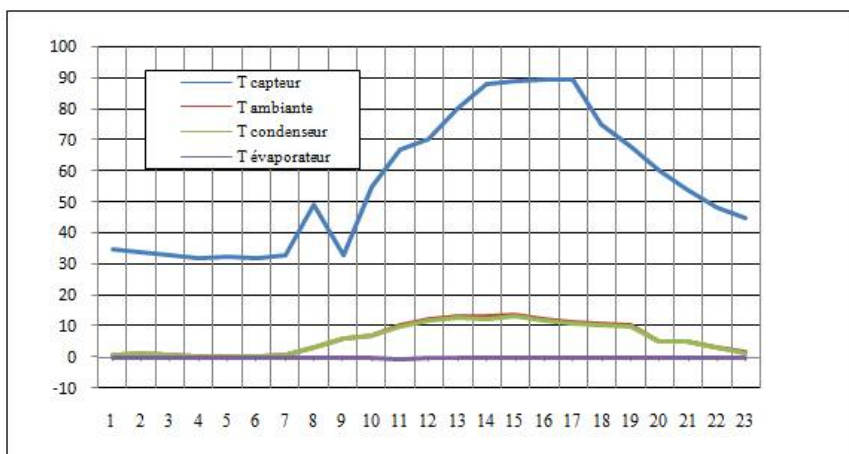


Fig. 7 : Températures enregistrées journée du 24 mars 2015

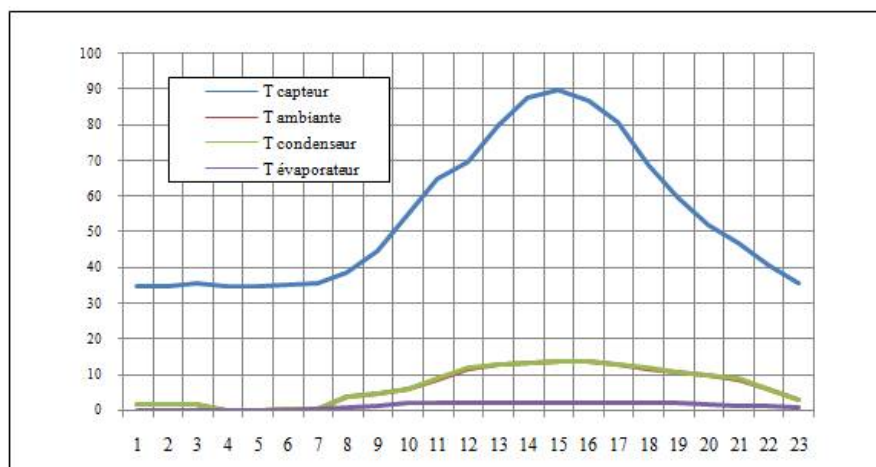


Fig. 8 : Températures enregistrées journée du 27 mars 2015

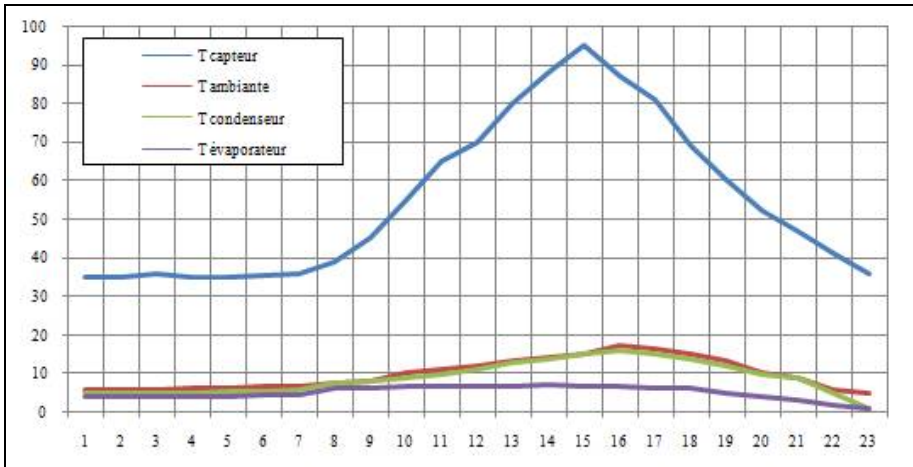


Fig.9. Températures enregistrées journée du 29 mars 2015

I. CONCLUSIONS

La machine frigorifique solaire à adsorption présentée dans ce travail est intéressante à plus d'un titre. Elle a fait l'objet de plusieurs études préliminaires récentes afin de la rendre réalisable. Outre l'utilisation de l'énergie solaire, largement disponible et encore mal exploitée dans notre pays, elle peut réaliser des températures de congélation ($< -20^{\circ}\text{C}$) avec des sources chaudes à température modérée (70°C). Elle utilise comme couple le gel de silice et l'eau, un couple "gratuit" d'une part (eau) et avec un prix très raisonnable (gel de silice), de l'autre part.

Parmi les problèmes technologiques rencontrés dans cette machine, le capteur ; il doit réaliser à la fois la captation d'énergie pendant le jour, et surtout assurer le refroidissement pendant la nuit. Vu que le refroidissement par rayonnement s'avère insuffisant, la solution retenue réside dans l'adjonction d'ailettes sur la paroi inférieure du capteur, les études de simulation ont montré que la fixation des ailettes triangulaires est la meilleure solution, malgré leur difficulté technologique par rapport aux ailettes rectangulaires simple.

L'objectif principal de cette étude est de réaliser et expérimenter une machine avec un cout faible, en utilisant de la matière première disponible dans le marché national.

Le but ce n'est pas de développer un prototype innovant mais, d'exploité ce gisement solaire important de notre payé dans la fabrication des congélateurs solaire pour l'intérêt des zone non recouvertes du réseau électrique (conservation des vaccins, médicaments...).

Les résultats expérimentaux trouvés demeure encourageante, ce qui rendre cette étude très utile dans l'amélioration de l'installation expérimentale dans le futur.

VI. Référence

- [1]. LE PIERRÈS, Nolwenn. Procédé solaire de production de froid à basse température (-28 C) par sorption solide-gaz. 2005. Thèse de doctorat. Université de Perpignan.
- [2]. Buchter F., Dind P., Pons M., "An experimental solar powered adsorptive refrigerator tested in Burkina-Faso", International Journal of Refrigeration, 26, 79-86, 2003.
- [3]. Hilbrand C., Dind P., Pons M., Buchter F., "A new solar powered adsorption refrigerator with high performance", Solar Energy, 77, 311-318, 2004.
- [4]. TAMAINOT-TELTO, Z. et CRITOPH, R. E. Adsorption refrigerator using monolithic carbon-ammonia pair. International Journal of Refrigeration, 1997, vol. 20, no 2, p. 146-155.
- [5]. BOUGARD, J. Thermodynamical and technical problems in solar adsorption refrigeration. In : Institut international du froid, commissions B1, B2, E1 & E2. Réunion. 1986. p. 25-33.
- [6]. Chekirou wassila, Etude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption, **Thèse de doctorat** option photo-thermique, U Mentouri Constantine 03/06/2008.
- [7]. Laboratoire d'Etudes Thermiques, "Dopage des échanges par convection naturelle en cycle nocturne", Rapport de projet PRI 6.1 Froid Solaire «, Poitiers 2004.
- [8]. ERROUGANI, Abdelmoussehel. Fabrication et expérimentation d'un réfrigérateur solaire a adsorption utilisant le couple charbon actif-méthanol dans le site de Rabat. 2007.
- [9]. BOUGARD, J. Thermodynamical and technical problems in solar adsorption refrigeration. In : Institut international du froid, commissions B1, B2, E1 & E2. Réunion. 1986. p. 25-33.
- [10]. Chems. Eddine Chitour, physico-chimie de surface, Vol 2, les interfaces gaz-solide et liquide-solide. U Mentouri Constantine 2001.
- [11]. WONGSUWAN, W., KUMAR, S., NEVEU, P., et al. A review of chemical heat pump technology and applications. Applied Thermal Engineering, 2001, vol. 21, no15, p. 1489-1519.
- [12]. BOUBAKRI, Abdesselem. Détermination des caractéristiques thermodynamiques du couple charbon actif AC 35-méthanol et étude de son application à la réfrigération solaire. 1985. Thèse de doctorat.
- [13]. GUILLEMINOT, J. J. et MEUNIER, F. Etude expérimentale d'une glacière solaire utilisant le cycle zéolithe 13X-eau. Rev. Gen. Therm. Fr, 1981, vol. 239, p. 825-834.
- [14]. MHIMID, Abdallah, JEMNI, Abdelmajid, et NASRALLAH, Sassi Ben. Etude théorique des transferts couples de chaleur et de masse lors de la désorption du couple Zéolithe 13X-eau. Revue générale de thermique, 1997, vol. 36, no 9, p. 697-706.

- [15]. GRENIER, Ph, GUILLEMINOT, J. J., MESTER, M., et al. Entrepôt frigorifique solaire à cycle zéolithe-eau. J. Int. Transf. Hélioth.(Monastir), 1983.
- [16]. LEMMINI, F., BURET-BAHRAOUI, J., PONS, M., et al. Simulation des performances d'un réfrigérateur solaire à adsorption: 1. comparaison des performances pour deux types de charbon actif. International journal of refrigeration, 1992, vol. 15, no 3, p. 159-167.
- [17]. N. Hebbir et N. Labed, 'Optimisation des Echanges Thermiques par Convection Naturelle d'un Capteur Régénérateur d'une Machine Frigorifique Solaire', Séminaire International sur la Physique Energétique, SIPE'8, Béchar, Algérie, Novembre 2006.
- [18]. HEBBIR, N. et LABED, N. Simulation et dopage des échanges par convection naturelle d'un capteur régénérateur d'une machine frigorifiques solaire.



Effet de l'intensité de la turbulence à l'entrée sur l'écoulement dans une cavité ventilée

Bouaraour K.¹, Hebbir N.² et Boudebous S.³

1- Département des Sciences et de la Technologie, université de Ghardaïa, Algérie.

2- Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Université d'Oum el Bouaghi, Algérie.

3- Département de Génie Mécanique, université de Constantine 1, Algérie.

E.mail: bouaraourk@yahoo.fr

Résumé-

Le présent travail représente la simulation numérique de l'écoulement turbulent à l'intérieur d'une cavité ventilée. Les parois de la cavité carrée sont adiabatiques à l'exception de la paroi verticale gauche, qui est portée à une température uniforme et différente à celle d'entrée. La méthode des volumes finis est utilisée pour la discrétisation des équations de conservation ainsi que les conditions initiales et aux limites. On fixe le nombre de Grashof à $Gr=10^9$ et on fait varier le nombre de Reynolds de telle sorte que le nombre de Richardson prend les valeurs : $Ri=0.1, 1, 10$ et 20 . L'effet de la variation de l'intensité de la turbulence à l'entrée de la cavité est discuté. Nous avons trouvé que loin de la paroi chauffée, les profils des quantités turbulentes sont presque indiscernables, indiquant un effet négligeable pour la variation de l'intensité de la turbulence. Nous avons trouvé aussi que l'évolution spatiale des variables présente le même aspect qualitatif pour différents nombres de Richardson mais avec un maximum légèrement différent.

Mots clés : turbulence, cavité ventilée, intensité de la turbulence, nombre de Reynolds

Effect of the turbulence intensity at the inlet on the flow in a ventilated cavity

Abstract-

The present work represents the numerical simulation of turbulent flow inside a ventilated cavity. The walls of the square cavity are adiabatic except the left vertical wall, which is brought to a uniform and different temperature to that at the inlet. The finite volume method is used for the discretization of conservation equations as well as the initial and boundary conditions. The Grashof number is set at $Gr = 10^9$ and the Reynolds number is varied so that the Richardson number takes the values: $Ri = 0.1, 1, 10$ and 20 . The effect of

the variation of turbulence intensity at the inlet of the cavity is discussed. We found that, far from the heated wall, the profiles of the turbulent quantities are almost indistinguishable, indicating a negligible effect on the variation in the intensity of the turbulence. We also found that the spatial evolution of the variables presents the same qualitative aspect for different Richardson numbers with a maximum slightly different.

Keywords: turbulence, ventilated cavity, turbulence intensity, Reynolds number

1. INTRODUCTION

La convection dans des espaces rectangulaires est un sujet d'investigation de grande importance, vue sa présence dans différentes applications industrielles tels que le refroidissement des composantes électroniques, les pertes de chaleur dans les collecteurs solaires et la ventilation des locaux.

Les outils numériques demeurent pour une importance majeure pour l'étude des phénomènes de transfert de chaleur et de masse dans les cavités ventilées, que soit en employant les codes CFD, comme dans l'étude de M. R. Alchakkif [1] et al, qui ont utilisé le code FLUENT pour étudier le taux de renouvellement d'air d'un local équipé par une grande ouverture vers l'extérieur, ou en employant la simulation des grandes échelles LES, comme dans plusieurs études numériques menées par Davidson et al [2-4] concernant la convection forcée turbulente dans des enceintes rectangulaires ventilées dans le cas bidimensionnel et tridimensionnel. Cependant la simulation des grandes échelles (LES) requière une large mémoire des ordinateurs et un temps de calcul important. L'utilisant de l'approche RANS est aussi un outil indispensable notamment lorsque on emploie des modèles de turbulence à bas nombre de Reynolds LRN.

Le présent travail consiste à résoudre numériquement le problème de la convection mixte turbulente à l'intérieur d'une cavité carrée ventilée, partiellement chauffée. L'effet de l'intensité de la turbulence à l'entrée est considéré en variant sa valeur entre 1% et 8%.

La ventilation est assurée par un jet turbulent d'air entrant par une ouverture au coin inférieur gauche, et sortant par une autre au coin supérieur gauche. Cette configuration est la même étudiée par D. Angirasa [5], mais dans le cas laminaire.

2. GEOMETRIE ET MODELE MATHEMATIQUE

La configuration étudiée est représentée sur la figure 1. Il s'agit d'une cavité carrée de côté L , équipée par une petite ouverture d'où se fait

l'admission d'air, et une autre à travers laquelle l'air quitte la cavité. Les deux ouvertures sont de largeur identique h qui vaut $L/10$. La paroi verticale gauche de la cavité est portée à une température constante T_p supérieur à la température ambiante T_0 , et les autres parois sont maintenues adiabatiques.

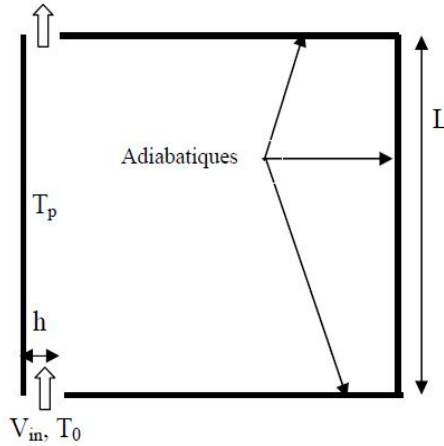


Fig. 1. Configuration Géométrique.

Pour simplifier le problème, on suppose que Le fluide est newtonien et incompressible, et que le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable. L'écoulement turbulent bidimensionnel à l'intérieur de la cavité est gouverné par les équations de Navier Stokes moyennés (RANS), avec la considération de l'approximation de Boussinesq. Les équations de conservation de masse, de la quantité de mouvement et d'énergie de notre modèle mathématique sont simplifiées comme suit:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0$$

(1)

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial X}(UU) + \frac{\partial}{\partial Y}(VU) = -\frac{\partial}{\partial X}(P + \frac{2}{3}K) + \frac{h^*}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right) \right] + \frac{h^*}{Re \partial X} \left[2\nu_t^* \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right) \right] + \frac{h^*}{Re \partial Y} \left[\nu_t^* \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right]$$

(2)

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial X}(UV) + \frac{\partial}{\partial Y}(VV) = -\frac{\partial}{\partial Y}(P + \frac{2}{3}K) + \frac{h^*}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right) \right] + \frac{h^*}{Re \partial X} \left[\nu_t^* \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right) \right] + \frac{h^*}{Re \partial Y} \left[2\nu_t^* \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right) \right] + RiT$$

(3)

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial X}(UT) + \frac{\partial}{\partial Y}(VT) = \frac{h^*}{Re.Pr} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(1 + Pr \frac{\nu_t^*}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial Y} \left(1 + Pr \frac{\nu_t^*}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial Y} \right]$$

(4)

Les nombres de Prandtl, de Reynolds, de Richardson et de Grashof sont représentés respectivement par les relations suivantes :

$$Pr = \nu / \alpha,$$

$$Re = V_{in} h / \nu,$$

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2},$$

$$Gr = g\beta\Delta Th^3 / \nu^2$$

(5)

Les expressions pour ces nombres adimensionnels sont les mêmes que ceux employés par les auteurs dans les références [6], [7] et [8-9].

Le modèle de turbulence qui a été employé dans cette étude, est le modèle k-ε de Launder et Sharma à bas nombre de Reynolds (LRN) [10], qui a prouvé son efficacité pour les configurations des cavités rectangulaires comme pour d'autres configurations [11-13]. Ces équations dimensionnelles qui expriment la variation de l'énergie cinétique turbulente k et son taux de dissipation ε . La forme adimensionnelle de ces équations est donnée respectivement par les relations suivantes:

$$\frac{\partial K}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial X}(UK) + \frac{\partial}{\partial Y}(VK) = \frac{h^*}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(1 + \frac{\nu_t^*}{\sigma_k} \right) \frac{\partial K}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial Y} \left(1 + \frac{\nu_t^*}{\sigma_k} \right) \frac{\partial K}{\partial Y} \right] + \frac{h^*}{Re} \left[2\nu_t^* \left(\left(\frac{\partial U}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right)^2 \right) + \nu_t^* \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right)^2 \right] - \varepsilon - 2 \left(\left(\frac{\partial \sqrt{K}}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial \sqrt{K}}{\partial Y} \right)^2 \right)$$

(6)

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial X}(U\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial Y}(V\varepsilon) = \frac{h^*}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(1 + \frac{\nu_t^*}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial Y} \left(1 + \frac{\nu_t^*}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial Y} \right] + \frac{h^* \varepsilon}{Re K} \left[2C_1 \nu_t^* \left(\left(\frac{\partial U}{\partial X} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right)^2 \right) + C_1 \nu_t^* \left(\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} \right)^2 - C_2 \varepsilon - 2\nu_t^* \left(\left(\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} \right)^2 \right) \right]$$

(7)

Les autres constantes du modèle de turbulence sont citées dans la table 1.

Table 1. Constants du modèle de la turbulence

C_μ	σ_t	σ_K	σ_ε	C_1	C_2	C_3
0.09	1	1	1.3	1.44	1.92	0.70

La viscosité turbulente est reliée à l'énergie cinétique turbulente et à sa fonction de dissipation par la relation de Prandtl-Kolmogorov :

$$\nu_t = C_\mu f_\mu \frac{K^2}{\varepsilon}$$

(8)

Les fonctions d'atténuation pour ce modèle sont les suivantes :

$$f_1 = 1$$

(9)

$$f_2 = 1 - 0.3 \exp(-R_{ei}^2)$$

(10)

$$f_{\mu} = \exp \left[\frac{-3.4}{\left(1 + \frac{R_{et}}{50}\right)^2} \right]$$

(11)

Le Reynolds turbulent local est défini comme suit :

$$R_{et} = \frac{K^2}{\nu \varepsilon}$$

(12)

2. CONDITIONS INITIALES ET AUX LIMITES

Pour la résolution des équations régissant le phénomène étudié, nous avons choisi les conditions initiales suivantes dans tout le domaine:

$$U=V=0, T=0, K=10^{-3}, \varepsilon = 10^{-3}$$

(13)

Pour les conditions aux limites, on adopte les conditions de non glissement sur toutes les parois de la cavité ($U=V=0$). K et $\square$ doivent être nulle aux parois selon le modèle de Launder et Sharma utilisé.

A l'entrée, l'énergie cinétique turbulente et sa fonction de dissipation sont prises égales à : $k_{in}=1.5(V_{in}I_0)^2$ et $\square_{in}=(k_{in}^{3/2})/l$ respectivement, où I_0 représente l'intensité de la turbulence à l'entrée de la cavité.

3. METHODE DE RESOLUTION

La méthode des volumes finis a été utilisée pour la discrétisation du système final des équations non dimensionnelles avec ses conditions initiales et aux limites. Cette discrétisation est implicite en second ordre dans le temps.

Pour la discrétisation spatiale, le schéma de la loi des puissances est adopté. Pour le couplage Vitesse-Pression, nous avons utilisé l'algorithme SIMPLER (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations Revised), et la méthode TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm) est utilisée pour la résolution itérative des systèmes d'équations [14].

Nous avons testé trois maillages différents pour s'assurer que nos résultats numériques sont indépendants du maillage. Le premier est caractérisé par 70x70 nœuds, le deuxième par 80x80 nœuds et le troisième par 100x100 nœuds.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Le code de calcul réalisé sous langage Fortran, est validé en confrontant nos résultats numériques aux résultats expérimentaux de Tian et Karayiannis [15] pour le cas de la convection naturelle turbulente dans une cavité carrée partiellement chauffée, avec un nombre de Rayleigh égal à 1.58×10^9 . Les données expérimentales de Nielson [16] dans le cas de la convection forcée turbulente dans une cavité ventilée sont aussi examinées numériquement. Nous avons obtenu un accord acceptable avec les données expérimentales concernant le champ de la vitesse et celui de la température dans le cas d'un nombre de Reynolds à l'entrée de 5×10^3 .

Les paramètres de contrôle du problème étudié sont le nombre de Grashof qui est fixé à 10^9 , le nombre de Prandtl de l'air et le nombre de Reynolds basé sur la largeur de l'ouverture à l'entrée est variable de telle sorte que le nombre de Richardson prend les valeurs suivantes : 0.1, 1, 5, 10 et 20.

Expérimentalement, quand on dit qu'un écoulement est turbulent à 4 %, cela signifie simplement que l'écart-type des fluctuations de vitesse est de 4 % de la vitesse moyenne. Les intensités sont : $I_0=1\%$, 4% et 8%. Nous avons commencé les calculs à partir de zéro, avec les nouvelles intensités de turbulence. Aucuns changements radicaux sur la structure de l'écoulement ne sont trouvés, cependant une légère variation est rencontrée pour les maxima des variables de l'écoulement. L'effet de l'intensité est surtout apparent sur les quantités turbulentes telles que l'énergie cinétique turbulente, le flux de chaleur turbulent et les contraintes turbulentes.

5.1. Effet de l'intensité sur l'énergie cinétique turbulente

L'effet de la variation de l'intensité de la turbulence sur l'énergie cinétique turbulente est examiné pour les quatre nombres de Richardson cités plus haut et pour trois positions arbitrairement choisies. On remarque les mêmes évolutions globales de l'énergie cinétique turbulente pour les trois intensités choisies pour chaque nombre de Richardson : la présence de deux pics, l'un situé très proche de la paroi chaude et l'autre à $X=0.1$.

Pour $Y=0.14$, on remarque que les maxima de K sont toujours rencontrés pour $I_0=1\%$. Les maxima pour $I_0=4\%$ et $I_0=8\%$ sont très rapprochés les uns des autres. Pour cette position, les maxima sont proportionnels aux nombres de Richardson. Loin de la paroi chaude, les profils sont presque indiscernables pour toutes les intensités (figure 5).

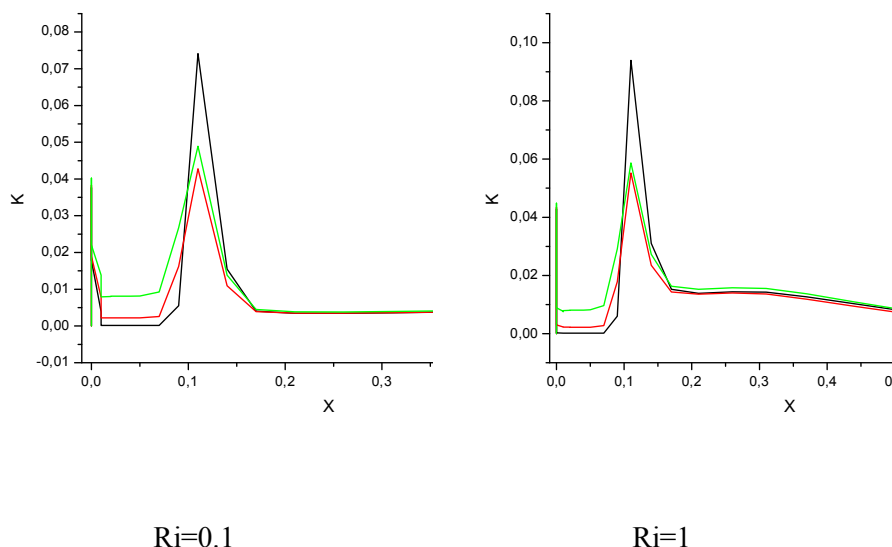


Fig. 5. Profils de l'énergie cinétique turbulence à $Y=0.14$.

Pour $Y=0.50$, les profils de K sont rapprochés les uns des autres, indiquant un effet négligeable de la variation de l'intensité de la turbulence sur l'énergie cinétique turbulente. Concernant l'ordre des grandeurs, nous avons constaté que pour cette position, les maxima sont inférieurs à ceux trouvés pour la position précédente pour le même nombre de Richardson (figure : 6). Loin de la paroi, le même aspect est trouvé que pour les profils précédents.

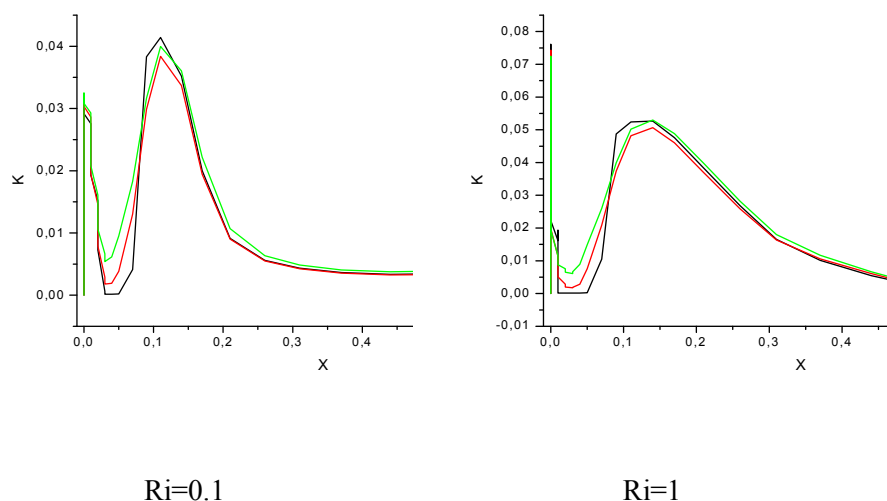


Fig. 6. Profils de l'énergie cinétique turbulence à $Y=0.50$.

Pour $Y=0.86$, les profils sont presque indiscernables pour les nombres de Richardson choisis, indiquant un effet très négligeable sur l'énergie cinétique turbulente (figure 7). Loin de la paroi, l'énergie cinétique turbulente est presque nulle pour tous les nombre de Reynolds et pour toutes les positions choisies.

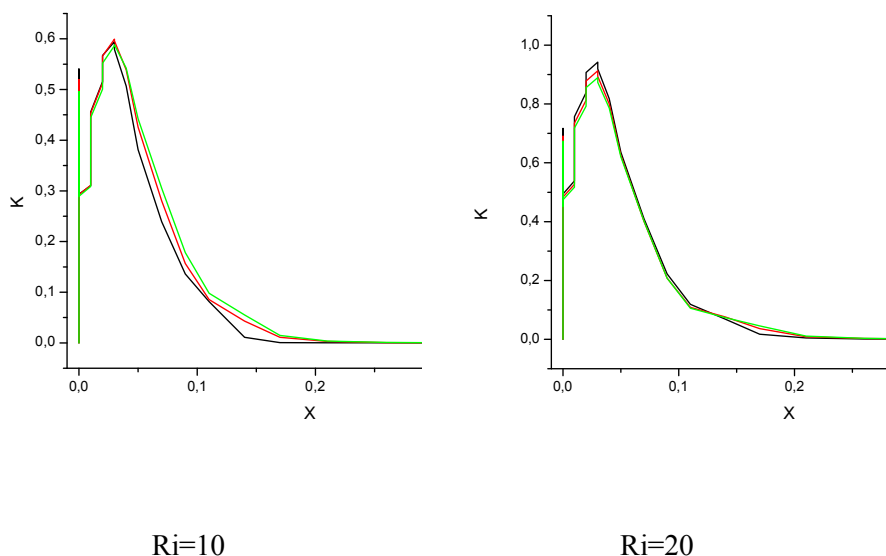


Fig.7. Profils de l'énergie cinétique turbulence à $Y=0.86$.

5.2. Effet de l'intensité sur le transfert de chaleur turbulent

L'effet de la variation de l'intensité de la turbulence I_0 sur le flux de chaleur turbulent est examiné pour les trois positions citées précédemment suivant la direction verticale. Nous avons limité la représentation des profils sur l'intervalle voisin de la paroi chaude, car il est le siège des gradients les plus importants des variables physiques. Pour $Y=0.14$, les profils montrent le même aspect qualitatif : une augmentation rapide vers un maximum qui se trouve très proche de la paroi chaude, puis une diminution brusque vers des valeurs presque nulles. On remarque que les valeurs les plus élevées du flux de chaleur turbulent sont signalées pour les faibles nombres de Richardson. On remarque aussi que le maximum pour $I_0=8\%$ est légèrement supérieur que pour le maximum pour les autres intensités, comme montre la figure 8.

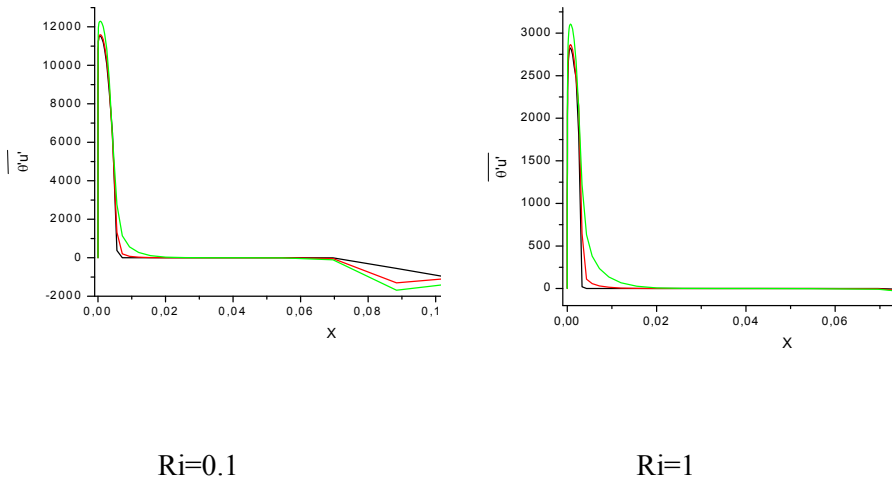


Fig. 8. Profils du flux de chaleur turbulent à $Y=0.14$.

On constate que la variation de l'intensité de la turbulence n'a pas une influence notable sur le flux de chaleur turbulent, et les profils sont presque indiscernables pour les nombres de Richardson considérés.

A mi-hauteur de la cavité, les niveaux du flux de chaleur turbulent sont diminués pour le même nombre de Richardson, mais les profils gardent toujours le même aspect qualitatif. On voit aussi que la diminution est devenue progressive (Voir figure 9)

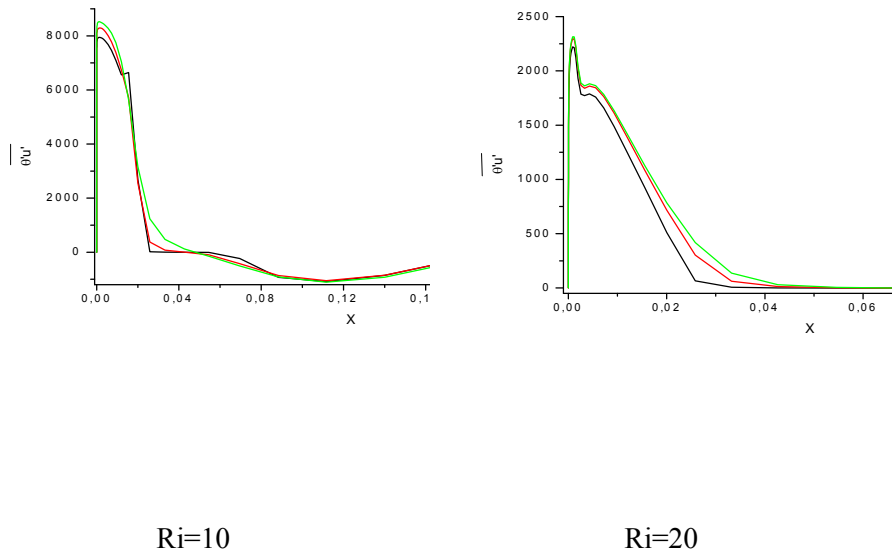


Fig. 9. Profils du flux de chaleur turbulent à $Y=0.50$.

Pour $Y=0.86$, le même aspect qualitatif est signalé que pour les figures précédentes. On remarque que la diminution est devenue de plus en plus progressive, et que les profils sont presque indiscernables malgré que l'écart soit grand entre les nombres de Richardson (voir figure 10).

Loin de la paroi chaude, l'évolution du transfert de chaleur turbulent est insignifiante pour les trois positions choisies, et pour tous les nombres de Richardson considérés.

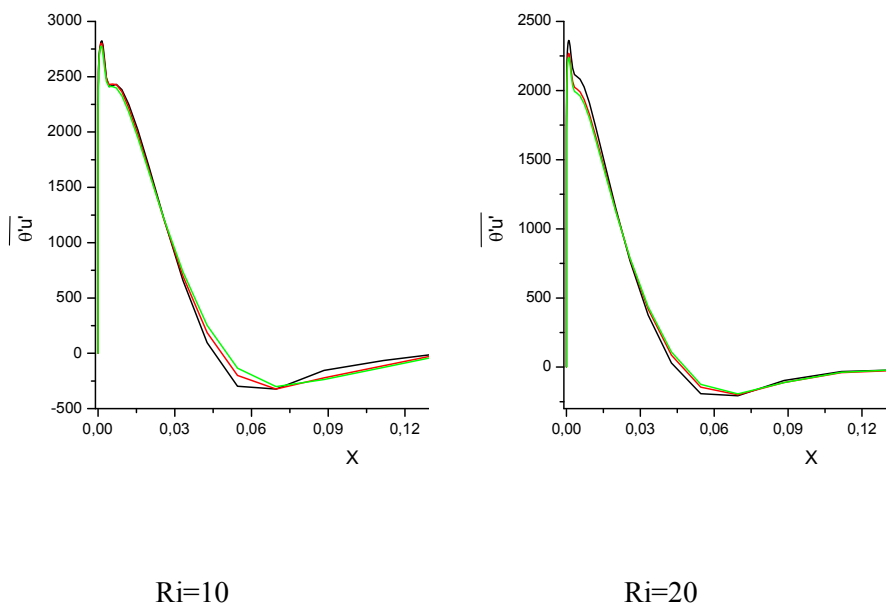


Fig. 10. Profils du flux de chaleur turbulent à $Y=0.86$

5. CONCLUSIONS

La présente étude sur l'écoulement turbulent dans une cavité ventilée. L'effet de variation de l'intensité de la turbulence à l'entrée de la cavité ventilée est discuté. Pour les trois intensités de la turbulence considérées qui sont : $I_0=1\%$, 4% et 8% , nous avons tiré les résultats suivants :

- Loin de la paroi chauffée, les profils des quantités turbulentes sont presque indiscernables, indiquant un effet très négligeable de la variation de l'intensité de la turbulence.
- Le même aspect qualitatif est trouvé pour les quantités turbulentes testées, mais avec des maxima marginalement différents.

- Les maxima des flux de chaleur turbulent sont inversement proportionnels au nombre de Richardson.
- Pour le même nombre de Richardson, le flux de chaleur turbulent et l'énergie cinétique turbulente sont de plus en plus importants en allant vers le bas de la cavité.

Références

- [1] Regard-Alchakkif, M., Francois-Rémi, C., Guarracino, C., (1997) Ventilation Naturelle d'un Local par une Grande Ouverture Extérieure : Calcul à l'Aide d'un Code de Champ, *Rev Gin Therm* 37 : 137-147.
- [2] Davidson, L., Nielson, P.V., (1996) Large Eddy Simulations of the Flow in a Three-Dimensional Ventilated Room, 5th Int. Conf. on Air Distributions in Rooms, ROOMVENT '96, 2, 161-168, Yokohama, Japan.
- [3] Davidson, L., (1997) LES of Recirculating Flow without any Homogeneous Direction: A Dynamic One-Equation Subgrid Model, *Int. Symposium on Turbulence Heat and Mass Transfer*, 481-490.
- [4] Davidson, L., Nielson, P.V., Topp, C., (2000) Low-Reynolds Number Effects in Ventilated Rooms: A Numerical Study, *Air Distributions in Rooms (Room Vent)*: 307-312.
- [5] D. Angirasa, mixed convection in a vented enclosure with an isothermal vertical surface, *fluid dynamics research* 26, 2000, 219-233.
- [6] Abib, A. B., Jaluria, Y., (1992) Turbulent Penetrative and Recirculating Flow in a Compartment Fire, *Heat and Mass Transfer in Fire and Combustion Systems* 223: 11-19.
- [8] Papanicolaou, E., Jaluria, Y., (1990) Mixed Convection from an Isolated Heat Source in a Rectangular Enclosure, *Numerical Heat Transfer Part A*. 18: 427-461.
- [9] Papanicolaou, E., Jaluria, Y., (1993) Mixed Convection from a Localized Heat Source in a Cavity with Conducting Walls: A Numerical Study, *Numerical Heat Transfer Part A* 23: 463-484.
- [10] Launder, B. E., Sharma, B. I., (1974) Application of the Energy Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow Near a Spinning Disc, *Lett. Heat Mass Transfer* 1: 131-138.
- [11] Cotton, M. A., Jackson, J. D., (1990) Vertical Tube Air Flows in the Turbulent Mixed Convection Regime Calculated Using a Low-Reynolds-Number $k-\epsilon$ Model, *Int. J. Heat Mass Transfer* 33: 275-286.
- [12] Behzadmehr, A., Galanis, N., Laneville, A., (2003) Low Reynolds Number Convection in Vertical Tubes With Uniform Wall Heat Flux, *Int. J. Heat and Mass Transfer* 46: 4823-4833.
- [13] Papanicolaou, E., Belessiotis, V., (2004) Transient Hydrodynamic Phenomena and Conjugate Heat Transfer During Cooling of Water in an Underground Thermal Storage Tank, *J. Heat Transfer* 126: 84-96.

- [14] Patankar, S. V., (1980) Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Mac Graw Hill, New York.
- [15] Tian, Y. S., Karayiannis, T. G, (2000) Low Turbulence Natural Convection in an Air Filled Square Cavity, Part I: The Thermal and Fluid Flow Fields. Int. J. Heat and Mass Transfer 43: 849–866.
- [16] P. V. Nielsen, (1990) Specification of a Two Dimensional Test Case, Report of IEA Annex 20: Air Flow Patterns within Buildings.