

الرقم الترتيبي:
الرقم التسلسلي:

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية العلوم التطبيقية



قسم هندسة الطرائق

أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه علوم

تخصص: هندسة الطرائق

من إعداد:

العاتي مختار

الموضوع:

Valorisation de la pomme de terre de la région
d'El-Oued par le procédé de séchage solaire

تثمين بطاطس منطقة الوادي بطريقة التجفيف الشمسي

يوم: 2019/10/01

لجنة المناقشة:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	بوبكري عبد الغني
ممتحنا	جامعة باتنة 2	أستاذ التعليم العالي	بن موسى حسين
ممتحنا	جامعة غرداية	أستاذ التعليم العالي	داودي باحمد
ممتحنا	جامعة باتنة 1	أستاذ التعليم العالي	فحلول جمال
مؤطرا و مقررا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	بوغالي سليمان
مساعد مؤطر	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	بوقطاية حمزة

الموسم الجامعي: 2019/2018

شكر و عرفان

الحمد لله رب العالمين، و الصلاة والسلام على محمد المبعوث رحمة للعالمين.

الشكر والفضل لله الذي أعانني ووفقني إلى إتمام هذه الأطروحة، ثم إلى والدي الكريمين و زوجتي و كل أفراد عائلتي.

كما أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور المشرف "بوغالي سليمان" ومساعدته الأستاذ الدكتور " بوقطاية حمزة "، على النصائح والإرشادات، والتوجيهات، وتشجيعه لي طوال مدة إعداد هذه الأطروحة، وكذلك أخص بالذكر زميلي الأستاذ "منوش جمال" و الأستاذ الدكتور "بشكي جمال" لمسانداتهم لي في هذا العمل .

و أتقدم أيضا بالشكر الجزيل إلى المخبري "حوتي أحمد" على كل ما قدمه لي من دعم خلال سنوات العمل التجريبي. كما أشكر جزيل الشكر أعضاء مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في المناطق الجافة و الصحراوية (L.E.N.R.E.Z.A) و خاصة مدير المخبر الأستاذ الدكتور "بوكراع عمر" الذي أتاح لي كل الإمكانيات لإنجاز هذا البحث. كما أشكر الأستاذ "بقاط أحمد" ماستر أدب عربي على المساعدة في تدقيق الأطروحة لغويا.

وأخص كذلك بالشكر و العرفان للأساتذة الكرام الذين ساهموا في مناقشة أطروحتي وهم:

♣ الأستاذ الدكتور "بوكري عبد الغني" جامعة ورقلة (رئيس لجنة المناقشة)

♣ الأستاذ الدكتور "بن موسى حسين" جامعة باتنة 2 (مناقشا) .

♣ الأستاذ الدكتور "داودي باحمد" جامعة غرداية (مناقشا) .

♣ الأستاذ الدكتور "فحلول جمال" جامعة باتنة 1 (مناقشا) .

كما لا أنسى بالشكر كل من قدم يد المساعدة من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل المتواضع. و الله ولي التوفيق.

الملخص

ازدادت نسبة إنتاج البطاطس في الوادي بمعدل سريع جدا في السنوات القليلة. و في عام 2013، احتلت ولاية الوادي المركز الأول وطنيا من حيث الإنتاج. استخدام التجفيف الشمسي هو أحد أفضل الطرق الاقتصادية للحفاظ على المحاصيل الزراعية، و للحد من خسائر ما بعد الحصاد.

المجفف الهجين (شمسي - كهربائي) غير المباشر الذي يعمل بالحمل القسري موجود على مستوى مخبر الطاقات الجديدة والمتجددة في المناطق الجافة (LENREZA)، بجامعة قاصدي مرباح - ورقلة.

للتقليل من استعمال الطاقة الكهربائية في عملية التجفيف أين تكون الطاقة الشمسية غير كافية و لا سيما في الفترة الصباحية، لهذا لجأنا إلى تحسين اللاقط الشمسي باستعمال طبقة رقيقة من رمل الكنبان، حيث أظهرت النتائج التجريبية لدراسة أداء اللاقط الشمسي أن جميع اللواقط المزودة بطبقة الرمل لديها درجات حرارة أعلى من تلك التي لا تحتوي على الرمل. وقد لوحظ أيضا أنه بالنسبة لكتلة ثابتة (سمك طبقة) للرمل، فإن التحسين يتناسب عكسيا مع أقطار حبيبات الرمل. أمّا بالنسبة لدرجة حرارة الهواء الخارجة من اللاقط المزود بحبيبات رمل ذات اقطار ثابتة فتزيد مع سمك طبقة الرمل. نطبق هذه النتائج على اللاقط الشمسي المزود به المجفف الهجين فتتخف نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال عملية التجفيف.

تُظهر نتائج النمذجة التي أجريت بواسطة برنامج Curve Expert أن نموذج Midilli و Kucuk هو النموذج الأنسب لوصف عملية تجفيف البطاطس في مجال درجات الحرارة (من 50 إلى 60°C). كما يظهر أن معامل الانتشار الفعال يزداد بزيادة درجة الحرارة.

تُشير نتائج الجودة إلى أن التجفيف بدرجة حرارة هواء 50 درجة هي الأفضل من حيث تغيرات لونية منخفضة، محتوى السكريات المرجعة أقل، وقيمة pH مماثلة وأفضل تقييم حسي (الذوق، اللون، النكهة والقبول العام) مقارنة بالمنتج الأصلي قبل عملية التجفيف الشمسي.

الكلمات المفتاحية: البطاطس، التجفيف، مجفف هجين، درجة الحرارة، رمل الكنبان.

Résumé

La production de pomme de terre à El-Oued a augmentée à un rythme très rapide au cours des dernières années. En 2013, El-Oued occupait le premier rang national en terme de production. L'utilisation du séchage solaire est l'un des meilleurs moyens économiques de conservation des légumes et de réduction des pertes post-récoltes,

Le séchoir hybride (solaire- électrique) indirect à convection forcée existe au niveau du laboratoire des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides (LENREZA), Université Kasdi Merbah - Ouargla.

Notre contribution pour l'amélioration de la performance du capteur solaire consiste à ajouter une couche mince de sable de dune. On a remarqué que, pour une masse fixe (épaisseur de couche) de sable, l'amélioration du collecteur était inversement proportionnelle aux diamètres de particules de sable. La température de sortie dans le collecteur pour un diamètre de particule fixe augmente avec l'augmentation de l'épaisseur du sable. Ces résultats s'appliquent au capteur solaire muni de séchoir hybride et conduit à réduire la fraction d'énergie électrique utilisée durant l'opération de séchage.

Les résultats de modélisation montrent que le modèle de Midilli et Kucuk est le plus approprié pour la description de l'opération de séchage des pommes de terre pour cette plage des températures (50 à 60°C). Le coefficient de diffusion effectif augmente en fonction de l'augmentation de la température.

Les résultats de qualité montrent que, la température de l'air de séchage de 50°C est la meilleure, car elle produit un changement de couleur total plus léger, une teneur en sucre réducteur moindre, une valeur de pH similaire et une meilleure évaluation sensorielle (goût, couleur, saveur et acceptabilité globale) comparativement au produit original avant le procédé de séchage.

Mots clés: pomme de terre, séchage, séchoir hybride, température, sable de dune.

Abstract

The production of potatoes in El-Oued has increased at a very rapid rate in the last few years. In 2013, El-Oued occupied the first rank nationally in terms of production. Using solar drying is one of the best and economical ways for preserving the vegetables and for reduction in post harvesting losses.

The indirect hybrid dryer (solar- electric) with forced convection exists at the Laboratory of Development of new and Renewable Energy in Arid zones (LENREZA), University of Ouargla.

Our contribution in the amelioration of the solar collector performance consisted in coating the collector by a thin layer of sand dune. It was noticed that, for a fixed mass of sand (given thickness of layer), the improvement of the collector was inversely proportional to the sand particle diameters. The output temperature in the collector for a fixed particle diameter increases with the increase in the thickness of the sand layer. These results are applied to the flat plate solar collector of hybrid dryer and led to reducing the fraction of electrical energy during the drying operation.

Modeling results by Curve Expert show that the Midilli and Kucuk model is most suitable model for the description of the potato drying operation for this range of temperatures (50 -60°C). The curves of the effective diffusion coefficient show that the diffusion in the product of the potato increases with the increase in the temperature.

The results of quality indicated that, the drying air temperature of 50°C was the best as it resulted in a dried product having lightest total color change, lesser reducing sugar content, similar value of pH and the best sensory evaluation (taste, color, flavor and overall acceptability) comparably to the original product before drying process.

Key-words: potato, drying, hybrid dryer, temperature, sand dune.

فهرس العناوین

I	..... الملخصات.
IV	..... فهرس العناوین.
XI	..... فهرس الأشكال.
XVI	..... فهرس الجداول.
XVIII	..... رموز ومصطلحات.
1	..... المقدمة العامة.

الفصل الاول: البطاطس و أهميتها الاقتصادية

5	..... إكتشاف البطاطس	.1.I
5	..... إنتشار البطاطس عبر العالم	.2.I
5	..... أصل تسمية البطاطس	.3.I
6	..... النبات	.4.I
6	..... أهمية البطاطس	.5.I
7	..... القيمة الغذائية للبطاطس	.6. I
8	..... الانتاج العالمي للبطاطس	.7. I
9	..... إنتاج للبطاطس افريقيا.	.8.I
9	..... الانتاج الوطني للبطاطس	.9.I
10	..... الولايات الاكثر زراعة للبطاطس وطنيا	.10. I
11	..... معدل استهلاك الفرد الجزائري للبطاطس	.11. I
12	..... الأصناف المزروعة في الجزائر	.12.I
12	..... لمحة حول ولاية الوادي	.13.I
13	..... التعريف بالأراضي الزراعية لولاية الوادي	.14.I
14	..... البطاطس في ولاية الوادي	.15.I

14	..... انتاج ولاية الوادي للبطاطس	.16 .I
الفصل الثاني: مفاهيم عامة حول التجفيف		
17	..... تمهيد	.1.II
17	..... خصائص الجسم الرطب	.2.II
18	..... النشاط المائي	.3.II
18	..... أشكال الرطوبة في المواد الغذائية	.4.II
18	..... سرعة و حركية التجفيف	.5.II
20	..... نمذجة منحنيات التجفيف	.6. II
22	..... العوامل المؤثرة في عملية التجفيف	.7.II
22	..... العوامل المتعلقة بالهواء على حركية التجفيف	.1.7.II
23	..... العوامل المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها المؤثرة في عملية التجفيف	.2.7.II
23	..... التساوي الحراري	.8.II
25	..... أهداف تجفيف الغذاء	.9.II
25	..... طرائق التجفيف	.10.II
25	..... التجفيف بالحمل	.1.10.II
25	..... التجفيف بالتوصيل	.2.10. II
25	..... التجفيف بالأمواف القصيرة	.3.10.II
26	..... المحتوى المائي	.11.II
26	..... خصائص المادة المتأثرة بحرارة هواء التجفيف	.12.II
26	..... التغيير في اللون	.1.12.II
26	..... خاصية استرجاع الماء	.2.12.II
27	..... التغيير الفيزيائي والميكانيكي في المادة المحففة	.3.12.II

27	..... علاقة النشاط المائي بالآثار الجانبية للمادة المجففة	.13 .II
28	..... تأثير المعالجة الاولية على المادة المجففة.	.14.II
29	..... الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف	.15.II
30	..... طرق الانتقال الحراري.	.1.15.II
30	..... التوصيل الحراري.	.1.1.15.II
30	..... الحمل الحراري	.2.1.15.II
31	..... الإشعاع الحراري	.3.1.15.II
32	..... طرق انتقال الكتلة	.2.15.II
32	..... الانتشار الكتلي.	.1.2.15.II
33	..... الحمل الكتلي.	.2.2.15.II
33	..... تقدير معامل الانتشار خلال عملية التجفيف.	.16.II

الفصل الثالث: المجففات الشمسية و طرق تحسين مردودها الطاقوي

36	..... تمهيد	.1.III
36	..... الطاقة الشمسية في الجزائر	.2.III
37	..... التجفيف باستعمال المجففات الشمسية.	.3.III
37	..... أنواع المجففات الشمسية.	.4.III
37	..... أنواع المجففات حسب كيفية استعمال الطاقة الشمسية.	.1.4.III
37	..... مجففات شمسية مباشرة	.1.1.4.III
39	..... مجففات شمسية غير مباشرة	.2.1.4.III
40	..... مجففات شمسية متعددة الأنظمة (مختلط).	.3.1.4.III
40	..... مجففات شمسية هجينة	.4.1.4.III
43	..... أنواع المجففات حسب حركة الهواء.	.2.4.III

44	..... تعريف اللاقط الشمسي المسطح	.5.III
44	..... تركيب اللاقط الشمسي المسطح	.6.III
44	..... غطاء شفاف منفذ	.1.6.III
45	..... الماص الحراري	.2.6.III
46	..... العازل الحراري	.3.6.III
46	..... المردود الطاقوي للاقط الشمسي	.7.III
47	..... العوامل المؤثرة على المردود الطاقوي للاقط الشمسي	.8.III
47	..... تأثير زاوية ميل اللاقط على المردود الطاقوي للاقط الشمسي	.1.8.III
48	..... تأثير سمك الزجاج على المردود الطاقوي للاقط الشمسي	.2.8.III
49	..... تأثير نوع العازل الحراري على المردود الطاقوي للاقط الشمسي	.3.8.III
51	..... تأثير سرعة الهواء الخارجي المردود الطاقوي للاقط الشمسي	.4.8.III
52	..... تأثير شكل الماص الحراري على المردود الطاقوي للاقط الشمسي	.5.8.III
52	..... زيادة عوائق معدنية على مستوى الصفيحة الماصة	.1.5.8.III
52	..... زيادة جسم مسامي على مستوى الصفيحة الماصة	.2.5.8.III
52	..... زيادة طبقة من أكسيد المعدن على مستوى الصفيحة الماصة	.3.5.8.III

الفصل الرابع : العمل التجريبي

1.IV. الجزء الأول: التركيب التجريبي و أجهزة القياس

54	..... وصف التركيب التجريبي المستعمل	.1.1.IV
55	..... مبدأ عمل المحفف الشمسي	.2.1.IV
57	..... وصف منطقة التجربة	.3.1.IV
57	..... أجهزة القياس المستعملة	.4.1.IV
59	..... طريقة العمل التجريبي	.5.1.IV

60	طريقة تحضير عينات التحفيف .....	.6.1.IV
61	تقدير الرطوبة الابتدائية للعينات.....	.7.1.IV
62	سبب اختيار المجال الحراري .....	.8.1.IV

2.IV. الجزء الثاني: تحسين المردود الطاقوي لللاقط الشمسي

63	الإشكالية.....	.1.2.IV
63	تأثير شدة الإشعاع الشمسي على حرارة الهواء المار باللاقط الشمسي .....	.2. 2.IV
	المساهمة الطاقوية لكل من الطاقة الحرارية الشمسية و الكهربائية للمجفف الشمسي الغير المباشر	.3. 2.IV
65	الهجين.....	
65	الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط الشمسي المسطح.....	.1.3. 2.IV
66	الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال عملية التحفيف.....	.2.3. 2.IV
67	التعريف بمناطق أخذ العينات.....	.4. 2.IV
68	النماذج التجريبية.....	.5. 2.IV
68	مراحل تحضير الرمل .....	.6. 2.IV
	السلسلة الأولى (سمك طبقة رمل ثابتة تقدر ب 0.56 مم و قطر حبيبات رمل ثابتة 0.125	.7. 2.IV
69	مم)	
72	السلسلة الثانية (تغير سمك طبقة رمل و قطر حبيبات رمل ثابتة 0.125 مم) .....	.8. 2.IV
74	السلسلة الثالثة (سمك طبقة رمل ثابتة و تقدر ب 0.84 مم و قطر حبيبات رمل متغير) ....	.9. 2.IV
77	تطبيق التحسين على اللاقط الجمسي المزود به المجفف الشمسي الغير المباشر الهجين.....	.10. 2.IV
78	نسب المساهمة الطاقوية للمجفف الشمسي الغير المباشر الهجين بعد التحسين.....	.11. 2.IV
78	مساهمة المقاومة الكهربائية قبل و بعد التحسين .....	.12. 2.IV

3.IV. الجزء الثالث: نمذجة حركية التحفيف

80	الهدف من الجزء الثالث.....	.1.3.IV
----	----------------------------	---------

78	..... تأثير حرارة هواء التجفيف على عينات التجفيف.	.2.3.IV
82	..... تغير رطوبة هواء التجفيف خلال مدة التجفيف.	.3.3.IV
84	..... المحتوى الرطوبي للعينات	.4.3.IV
85	..... نمذجة منحنيات التجفيف..	.5.3.IV
89	..... معامل الانتشار الرطوبي	.6.3.IV
4.IV. الجزء الرابع: دراسة تأثير حرارة هواء التجفيف على البطاطس المجففة		
93	..... مقدمة	.1.4. IV
93	..... تأثير لون الشرائح المجففة بجمارة هواء التجفيف.	.2.4. IV
93	..... الهدف من دراسة اللون بعد التجفيف	.1.2.4. IV
93	..... النظام المستعمل لقياس اللون	.2.2.4. IV
94	..... الجهاز المستعمل لقياس اللون	.3.2.4. IV
94	..... التغيرات اللونية للبطاطس المجففة	.4.2.4. IV
95	..... التغيرات اللونية للبطاطس بعد إعادة الإماهة (إرجاع الماء).	.5.2.4. IV
97	..... التغيرات اللونية للبطاطس المعالجة مسبقا.	.6.2.4. IV
98	..... تقدير محتوى السكريات المرجعة	.3.4. IV
98	..... الهدف من تقدير محتوى السكريات المرجعة في العينات المجففة.	.1.3.4. IV
99	..... الأساس العلمي لطريقة برتراند (Bertrand)	.2.3.4. IV
99	..... الأجهزة و المواد المستخدمة في تجربة برتراند (Bertrand).	.3.3.4. IV
100	..... تحضير محاليل فهلينج.	.4.3.4. IV
100	..... مراحل تجربة برتراند (Bertrand)	.5.3.4. IV
104	..... نتائج معاينة السكريات المرجعة	.6.3.4. IV
106	..... تأثير القيم الحسية للبطاطس المجففة بجمارة هواء التجفيف	.4.4. IV

109	..... تأثر الحموضة بجرارة هواء التآفیف	.5.4. IV
109	..... تأثر الرقم الهفدروفیفف (pH) بجرارة هواء التآفیف	.1.5.4. IV
110	..... تأثر المحتوى الحمضف بجرارة هواء التآفیف	.2.5.4. IV

5.IV. الجزء الخامس: الدراسة الاقآصاءفة

113	..... هدف الدراسة الاقآصاءفة	.1.5. IV
113	..... سعة التآفیف	.2.5. IV
113	..... أسعار المواد المسآءمة فف آصنفع المآفف الشمسف	.3.5. IV
114	..... الآكفة الإآمالفة السنوفة للآفیف	.4.5. IV
114	..... الآكفة السنوفة للاستآمار	.1.4.5. IV
115	..... آكفة الصفانة والاستآلال السنوفة	.2.4.5. IV
115	..... القفمة الاسآهلاآفة السنوفة	.3.4.5. IV
116	..... آكفة آفیف كفلوآرام من البطاطس	.5.5. IV
117	..... العوامل المساهمة فف آفض آكفة التآفیف	.6.5. IV
119	..... الآآمة و الآوصفاء	
122	..... المراجع	

الملاحق

134	..... الرمل و آصائصه	الملآق أ
137	..... آءول برآراند (Bertrand)	الملآق ب

فهرس الأشكال

الصفحة	رقم الشكل
الفصل الأول	
7	(1 -I) تركيب درنة البطاطس.....
8	(2 -I) الانتاج العالمي للبطاطس خلال الفترة 1961 - 2016.....
10	(3 -I) الانتاج الوطني للبطاطس خلال الفترة 1961 - 2016.....
11	(4 -I) نسب مساهمة الولايات الاكثر زراعة للبطاطس وطنيا بين عامي 2002 و 2013
13	(5 -I) خريطة ولاية الوادي.....
الفصل الثاني	
19	(1 -II) منحني سرعة التجفيف (منحني Krischer).....
	(2 -II) خط التساوي الحراري للغذاء: أ: ذو المحتوى الرطوبي العالي، ب: ذو المحتوى الرطوبي المنخفض.....
24	
27	(3 -II) مخطط سرعة تغير المادة الحية بدلالة فعالية.....
29	(4-II) مختلف ظواهر الانتقال الحراري و الكتلي التي تحدث خلال التجفيف.....
الفصل الثالث	
36	(1 -III) المتوسط السنوي للاشعاع الشمسي على المستوى الوطني.....
	(2 -III) مخطط للمجفف الشمسي المباشر المتواجد على مستوى مخبر الطاقات مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في المناطق الجافة و الصحراوية(L.E.N.R.E.Z.A)
38	
	(3 -III) مخطط للمجفف الشمسي الغير مباشر المتواجد على مستوى مخبر الطاقات مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في المناطق الجافة و الصحراوية(L.E.N.R.E.Z.A)
39	
41	(4 -III) تأثير الألواح الكهروضوئية لضبط حرارة هواء المجفف الغير مباشر.....
41	(5 -III) مخطط للمجفف المجهين (مجفف+ سخان ماء شمسي).....

42	..... الشمسي	(III - 6)
43	..... مخطط المجفف الهجين (مجفف + محاكي المياه الجوفية الساخنة).	(III - 7)
43	..... تغيرات درجات الحرارة خلال ساعات النهار و الليل للمجفف المدعم بالمياه الجوفية الساخنة.	(III - 8)
46	..... رسم تخطيطي يوضح أجزاء اللاقط الشمسي المسطح.	(III - 9)
49	..... تأثير سمك الزجاج على المردود الطاقوي للاقط الشمسي.	(III - 10)
50	..... صور النماذج التجريبية لعزل اللاقط الشمسي باستعمال الياف وخشب النخيل.	(III - 11)
51	..... المردود الطاقوي للاواقط الشمسية بختلاف العوازل الحرارية.	(III - 12)

الفصل الرابع

55	..... المقاومة الكهربائية.	(IV - 1)
55	..... المروحة الكهربائية.	(IV - 2)
56	..... رسم تخطيطي يوضح أجزاء المجفف الشمسي المستعمل.	(IV - 3)
56	..... صورة المجفف الشمسي المستعمل توضح أبعاده و أجزائه الرئيسية.	(IV - 4)
57	..... جهاز قياس الإشعاع الشمسي.	(IV - 5)
58	..... أجهزة قياس الحرارة 'Thermocouples' متصلة بجهاز حفظ المعلومات.	(IV - 6)
58	..... جهاز قياس رطوبة الهواء.	(IV - 7)
59	..... الميزان.	(IV - 8)
59	..... العداد الكهربائي.	(IV - 9)
60	..... مراحل تجربة تخفيف شرائح البطاطس.	(IV - 10)
61	..... شرائح البطاطس في طبق التخفيف.	(IV - 11)
61	..... جهاز التحليل الرطوبي.	(IV - 12)
	..... منحنيات شدة الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة الداخلة و الخارجة من اللاقط الشمسي	(IV - 13)

- 63 خلال مدة التحفيف ب 50 درجة (14-IV) منحنيات شدة الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة الداخلة و الخارجة من اللاقط الشمسي
- 64 خلال مدة التحفيف ب 55 درجة (15-IV) منحنيات شدة الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة الداخلة و الخارجة من اللاقط الشمسي
- 64 خلال مدة التحفيف ب 60 درجة (16-IV) صورة اللواقط الشمسية المدروسة و الشاهد
- 68 (17-IV) مراحل معالجة الرمل
- 69 (18-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن للسلسلة الأولى
- 70 (19-IV) تأثير نوع الرمل على تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج للواقط بدلالة الزمن
- 70 (20-IV) تأثير نوع الرمل على المردود الطاقوي اليومي للواقط الشمسية
- 71 (21-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن للسلسلة الثانية
- 72 (22-IV) تأثير سمك طبقة الرمل المثبتة على مستوى الماص الحراري على تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج للواقط بدلالة الزمن
- 73 (23-IV) تأثير سمك طبقة الرمل على المردود الطاقوي اليومي لمختلف اللواقط
- 74 (24-IV) تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن للسلسلة الثالثة
- 75 (25-IV) تأثير أقطار حبيبات الرمل المثبتة على مستوى الماص الحراري على تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج للواقط بدلالة الزمن
- 75 (26-IV) تأثير قطر حبيبات الرمل على المردود الطاقوي اليومي لمختلف اللواقط
- 76 (27-IV) المردود الطاقوي قبل و بعد التحسين لللاقط الشمسي المزود به المحفف الشمسي الهجين
- 77 (28-IV) مساهمة الطاقة الكهربائية للمحفف الشمسي الهجين قبل و بعد التحسين
- 78 (29-IV) منحنيات درجات حرارة الهواء قبل و بعد اجتيازه العينات و كذلك حرارة العينات و هذا
- 80 خلال مدة التحفيف ب 50 درجة

- (30-IV) منحنيات درجات حرارة الهواء قبل و بعد اجتيازه العينات و كذلك حرارة العينات و هذا
 81 خلال مدة التحفيف ب 55 درجة
- (31-IV) منحنيات درجات حرارة الهواء قبل و بعد اجتيازه العينات و كذلك حرارة العينات و هذا
 81 خلال مدة التحفيف ب 60 درجة.....
- (32-IV) تغير رطوبة هواء التحفيف و العينات المجففة خلال مدة التحفيف ب 50 درجة
- (33-IV) تغير رطوبة هواء التحفيف و العينات المجففة خلال مدة التحفيف ب 55 درجة
- (34-IV) تغير رطوبة هواء التحفيف و العينات المجففة خلال مدة التحفيف ب 60 درجة.....
- (35-IV) تأثير درجات حرارة التحفيف على تغيرات المحتوى الرطوبي للعينات
- (36-IV) مقارنة منحنيات المحتوى الرطوبي المختصر للقيم التجريبية و نموذج Midilli et Kucuk
 88 بدلالة زمن التحفيف ب 50 درجة بواسطة برنامج Curve Expert
- (37-IV) مقارنة منحنيات المحتوى الرطوبي المختصر للقيم التجريبية و نموذج Midilli et Kucuk
 88 بدلالة زمن التحفيف ب 55 درجة بواسطة برنامج Curve Expert
- (38-IV) مقارنة منحنيات المحتوى الرطوبي المختصر للقيم التجريبية و نموذج Midilli et Kucuk
 89 بدلالة زمن التحفيف ب 60 درجة بواسطة برنامج Curve Expert
- (39-IV) تغيرات $\ln(XR)$ بدلالة زمن التحفيف شرائح البطاطس تحت درجة حرارة هواء 50 درجة
 90 بواسطة برنامج Curve Expert
- (40-IV) تغيرات $\ln(XR)$ بدلالة زمن التحفيف شرائح البطاطس تحت درجة حرارة هواء 55 درجة
 90 بواسطة برنامج Curve Expert
- (41-IV) تغيرات $\ln(XR)$ بدلالة زمن التحفيف شرائح البطاطس تحت درجة حرارة هواء 60 درجة
 91 بواسطة برنامج Curve Expert
- (42-IV) جهاز قياس اللون.....
 94
- (43-IV) تأثير حرارة التحفيف على التغيرات اللونية للبطاطس المجففة

96	..... مراحل تجربة إعادة الإماهة	(44-IV)
96	..... التغيرات اللونية للبطاطس المجففة بعد التشرّب	(45-IV)
97	..... تأثير المعالجة المسبقة على التغير اللوني للبطاطس المجففة عند 60 درجة	(46-IV)
	..... تأثير حرارة هواء التجفيف (أ، ب و ت) و المعالجة المسبقة (ث) على لون شرائح البطاطس	(47-IV)
98	..... المجففة	
100	..... سحق العينات أ- الطازجة، ب- الجافة	(48-IV)
101	..... تحضير محلول البطاطس	(49-IV)
101	..... ترشيح محلول البطاطس	(50-IV)
102	..... تسخين محلول البطاطس	(51-IV)
102	..... تشكل راسب أكسيد النحاس (Cu_2O)	(52-IV)
103	..... ترشيح راسب أكسيد النحاس	(53-IV)
104	..... معايرة الحديد (Fe^{+2}) المتشكل بواسطة برمنغنات البوتاسيوم ($KMnO_4$)	(54-IV)
105	..... تأثير حرارة التجفيف على نسبة السكريات المرجعة	(55-IV)
107	..... التغيرات في الصفات الحسية للعينات الجافة بالمقارنة بحالتها الطازجة	(56-IV)
109	..... تجربة قياس الرقم الهيدروجيني	(57-IV)
110	..... تأثير حرارة هواء التجفيف على pH البطاطس	(58-IV)
111	..... مراحل تجربة معايرة الحموضة	(59-IV)
112	..... تأثير حرارة التجفيف على مستوى حموضة الستريك في البطاطس	(60-IV)

الملحق أ

134 توزيع الكثبان الرملية في الصحراء الجزائرية	(أ-1)
-----	--------------------------------------------------	-------

فهرس الجداول

الصفحة		رقم الجدول
الفصل الأول		
6	..... المحاصيل الأكثر إنتاجا عالميا	(1 -I)
8	..... الدول العشر الأكثر إنتاجا للبطاطس عالميا	(2 -I)
9	..... الدول الأكثر إنتاجا للبطاطس إفريقيا سنة 2017	(3 -I)
11	..... تطور استهلاك الفرد الجزائري خلال الفترة 1970-2017	(4 -I)
15	..... ارتفاع إنتاج البطاطس لولاية الوادي من سنة 1991 إلى سنة 2016	(5 -I)
الفصل الثاني		
21	..... النماذج التجريبية المطبقة على منحنيات التحفيف	(1- II)
الفصل الثالث		
48	..... الزاوية المثلى لميلان اللواقط الشمسية خلال أشهر السنة في مدينة ورقلة	(1-III)
48	..... الزاوية المثلى لميلان اللواقط الشمسية خلال فصول السنة في مدينة ورقلة	(2-III)
الفصل الرابع		
62	..... الرطوبة الابتدائية لعينات التحفيف	(1-IV)
66	..... نسبة المساهمة الطاقوية خلال عملية التحفيف للمحفف قبل إجراء التحسين	(2-IV)
72	..... سماك طبقات الرمل المثبتة على اللواقط الشمسية خلال السلسلة الثانية	(3-IV)
78	..... نسبة المساهمة الطاقوية خلال عملية التحفيف للمحفف بعد عملية إجراء التحسين	(4-IV)
86	..... الثوابت التجريبية والنتائج الإحصائية المتحصل عليها باستعمال برنامج Curve Expert	(5-IV)
91	..... معامل الإنتشار الرطوبي الفعال لشرائح البطاطس تحت درجات الحرارة المدروسة	(6-IV)
106	..... درجات التقييم الحسي وفق مقياس هيدونيك (Hedonic)	(7-IV)

106	..... نموذج إستمارة التقييم الحسي لشرائح البطاطس المجففة	(8-IV)
112	..... حجم هيدروكسيد الصوديوم المستعمل في المعايرة	(9-IV)
114	..... أسعار المواد الداخلة في تركيب المجفف الشمسي المهجين حسب أسعار السوق	(10-IV)
116	..... التكلفة المادية المجفف الشمسي المهجين	(11-IV)
117	..... حساب تكلفة تجفيف كيلوغرام من البطاطس	(12-IV)

الملحق أ

135	..... المكونات الرئيسية لرمل كثبان منطقة ورقلة	(1-أ)
136	..... تصنيف الرمل وفقاً لأقطار حبيباته	(2-أ)

الملحق ب

137 جدول برتراند (Bertrand) لحساب كتلة السكريات الموافقة لحجم برمنغنات البوتاسيوم	(1-ب)
-----	-------------------------------------------------------------------------------------	-------

رموز و مصطلحات

الرمز	الرموز اللاتينية	الوحدة
a	معامل امتصاص الإشعاعي.....	-
a_w	النشاط المائي.....	%
a	التغير اللوني من الأخضر إلى الأحمر.....	-
b	التغير اللوني من الأزرق إلى الأخضر.....	-
C	التركيز الكتلي.....	Kg / m^3
CAI	تكلفة الاستثمار السنوية (Coût Annuel d'Investissement)	دج
CAME	تكلفة الصيانة والاستغلال السنوية (Coût Annuel de Maintenance et d'Exploitation)	دج
CAT	التكلفة الإجمالية السنوية (Coût Annuel Total)	دج
C_{mol}	التركيز المولي.....	Kg / mol
C_u	تكلفة الوحدة (Coût unitaire).....	دج
D	معامل الانتشار.....	m^2/s
dt	زمن التحفيف.....	s
$-dX/dt$	سرعة التحفيف.....	$kg d'eau/kg m_s. s$
e	معامل الانبعاث الإشعاعي.....	-
ΔE	البعد اللوني.....	-
E_{elec}	الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية خلال مدة التحفيف.....	kWh
E_{sol}	الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط خلال مدة التحفيف.....	kWh
E_T	الطاقة الكلية المستهلكة خلال مدة التحفيف.....	kWh

رموز ومصطلحات

%	..... ( Facteur d'Amortissement de Fond)	معامل الاستهلاك الأساسي	FAF
%	..(Facteur de Recouvrement du Capital)	معامل انتعاش رأس المال	FRC
$W / m^2 .K$	.....	معامل الحمل الحراري	h
-	.....	الإضاءة	L
W	.....	الطاقة الإشعاعية المنبعثة من سطح جسم ما	M
kg	.....	كتلة الماء	m_e
kg	.....	كتلة الجسم الرطب	m_h
W	.....	الطاقة الإشعاعية المنبعثة من سطح جسم أسود	M^o
kg	.....	كتلة المادة الصلبة	m_s
عام	.....	المدة الافتراضية لحياة الجهاز	n
Pa	.....	الضغط الجزئي لبخار الماء	P
Pa	.....	ضغط بخار الماء النقي في حالة التشبع	P_0
-	.....	الرقم الهيدروجيني	pH
J/mol.K	.....	ثابت الغازات المثالية	R
-	.....	معامل التحديد	r
-	.....	معامل الانعكاس الإشعاعي	ref
%	.....	نسبة الفائدة البنكية	rent
%	..... ( Valeur d'amortissement)	القيمة الاستهلاكية	S
m^2	.....	مساحة التبادل الحراري (التخفيف)	S_e
K	.....	حرارة هواء التخفيف	T
K	.....	حرارة الوسط المائع	T_f
K	.....	حرارة الجسم الصلب	T_p

رموز ومصطلحات

دج	..... (Valeur d'Amortissement Annuelle)	القيمة الاستهلاكية السنوية	VAA
m/s	.....	سرعة الرياح	V _{vt}
kg d'eau/kg m _s	.....	المحتوى الرطوبي الابتدائي	X ₀
kg d'eau/kg m _s	.....	المحتوى الرطوبي للعينة عند التوازن	X _{eq}
kg d'eau/kg m _s	.....	المحتوى الرطوبي في حالة التشبع	X _m
-	.....	المحتوى الرطوبي المختصر	X _r
%	.....	المحتوى الرطوبي ذو الأساس الجاف	X _s
kg d'eau/kg m _s	.....	المحتوى الرطوبي ذو الأساس الرطب	X _h

الرموز الإغريقية

m ³ /s	.....	تدفق الهواء الرطب	φ
W / m.K	.....	التوصيلة الحرارية	λ
W / m ² .K ⁴	.....	ثابت ستيفان- بولتزمان	σ
(⁰)	.....	زاوية ميل اللاقط الشمسي	β _c
W	.....	التدفق الحراري الكلي	φ
W	.....	كمية الإشعاع الواصلة للجسم	φ _{inc}
W	.....	كمية الإشعاع المتصدة من طرف الجسم	φ _{abs}
W	.....	كمية الإشعاع المارة عبر الجسم	φ _{tra}
W	.....	كمية الإشعاع المنعكسة من طرف الجسم	φ _{ref}
%	.....	مردود اللاقط الشمسي	η
-	.....	معامل السماحية الاشعاعية	τ
Kg / s	.....	التدفق الكتلي	\dot{m}

المقدمة

العامّة

مقدمة عامة

شهد إنتاج محصول البطاطس في ولاية الوادي قفزة نوعية في الكمية المنتجة، وأصبحت الوادي إبتداء من سنة 2013 تحتل المرتبة الأولى وطنيا سواء من حيث الإنتاج [عمامرة و آخرون، 2016؛ غمام، 2016] أو من حيث المساحة المزروعة [MADR, 2014]. غير أن جزء من هذه الكمية يتلف خلال موسم الصيف لعدم كفاية غرف التبريد في المنطقة التي تتميز بارتفاع درجة الحرارة حيث تصل الى حدود 50°C صيفا. زيادة على ذلك إستهلاك عملية الحفظ بالتبريد بالطرق المستعملة حاليا لكمية كبيرة من الطاقة الكهربائية أثناء عملية التخزين التي تتطلب خفض درجة الحرارة إلى $(2-4^{\circ}\text{C})$ إذا كانت مدة الحفظ طويلة (9 أشهر)، أما إذا كانت مدة التخزين قصيرة (3 أشهر) فدرجة الحرارة $(8-10^{\circ}\text{C})$ كافية، وكذلك الإنقطاعات المتكررة للتيار الكهربائي و لاسيما خلال موسم الصيف أين يكثر الطلب على الطاقة الكهربائية، مما يزيد في الكمية المعرضة للتلف، و ذلك لاحتواء البطاطس على نسبة كبيرة من الماء بحوالي 82 % و هي في حالتها الطازجة. حيث أن نسبة التلّف في المواد الغذائية في الدول النامية تقدر بنحو 50 % من جميع الخضروات و الفواكه المزروعة و نحو 25 % من محاصيل الحبوب [اشتية و آخرون، 2010]. إن إزالة الرطوبة من البطاطس تضمن إمكانية حفظها من التلف لمدة أطول من الزمن و إمكانية إستعمالها بعد ذلك بإضافة جزء من الماء، أو الماء بكامله لإسترجاع المنتج و إستعماله. يُطلق على عملية إزالة الماء من المواد الغذائية التجفيف [الحلبي و آخري، 2011]. حيث تُمثل البطاطس نحو 12% من المنتجات المجففة عالميا [Aghbashlo et al., 2009]، و يُعتبر التجفيف أيضا الحل الأمثل لتثبيت ربحية المحصول طوال السنة بالتغلب على تقلب أسعار السوق باختلاف المواسم فمن المعتاد أن تنخفض جدا خلال موسم الجني و ترتفع في الفترات الأخرى و تبلغ مستويات قياسية، أما سعر كيلوغرام البطاطس المجففة محدد وثابت طوال العام.

مع بداية التطور الصناعي بدأ استعمال المجففات الصناعية غير أنها مكلفة للغاية، لاعتمادها في تسخين الهواء على الطاقات الغير متجددة، الذي يعتبر من أهم عوامل تلويث البيئة، وطرق التجفيف الشمسية التقليدية (تعريض المنتج مباشرة لأشعة الشمس)؛ تؤدي إلي منتجات جد رديئة من حيث النوعية. ومنها بدأ التفكير في تصميم مجفف يتميز بمواصفات المجففات الصناعية إلا أنه يعتمد في تسخين الهواء على الطاقة الشمسية، حيث يصل معدل ساعات الإشعاع السنوي في المناطق الصحراوية التي تشكل 86% من المساحة الكلية للوطن إلى 3500 ساعة في السنة، وهذا ما يجعلها مصدر طاقي لا يستهان به.

لكن من مشاكل الطاقة الشمسية عدم الاستقرار في أشعتها؛ حيث تزداد شدتها صيفا و تنخفض شتاء مما يؤثر على المددود الطاقوي لللاقط الشمسي الذي يزود المجفف بالهواء الساخن اللازم لعملية التجفيف. وهذا ما دفعنا لزيادة مصدر آخر للطاقة للحفاظ على الاستقرار الحراري للمجفف، وهكذا ظهر لنا مجفف هجين يعمل على مصدرين طاقيين شمسي (مصدر رئيسي)، و تقليدي (مصدر ثانوي). ولزيادة نسبة مساهمة الطاقة الشمسية الحرارية (المتجددة) مقارنة بالطاقة الكهربائية(التقليدية) نقوم بإضافة طبقة من رمل الكتبان على مستوى وحدة توليد الهواء الساخن (وسيلة التجفيف) وبالضبط في الصفيحة الماصة لللاقط الشمسي .

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة مدى تأثير حرارة هواء التجفيف على شرائح البطاطس المجففة بالإضافة لزيادة مساهمة اللاقط في تسخين هواء خلال عملية. وقد تمت هذه الدراسة على مستوى مخبر الطاقات الجديدة و المتجددة للمناطق الصحراوية (LENREZA) التابع لقسم الفيزياء، كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرياح - ورقلة.

تنقسم هذه الأطروحة إلى أربعة فصول و هي كالتالي :

الفصل الأول: أبدأ بلمحة حول اكتشاف و انتشار البطاطس عالميا إلى وقت وصولها للجزائر، ثم عرجنا على الكمية المنتجة عالميا و إفريقيا فوطنيا، مع التركيز على ولاية الوادي التي احتلت المرتبة الأولى وطنيا منذ الموسم الفلاحي 2012 - 2013.

و في **الفصل الثاني** فنلقي نظرة عامة حول التجفيف، تم تطرقنا لسرعة و حركية التجفيف مع ذكر النماذج الأكثر استعمالا لوصف عملية. و كذلك العوامل المؤثرة على هذه العملية سواء المتعلقة بهواء التجفيف أو المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها مع ذكر بعض التغيرات التي تطرأ عليها خلال هذه العملية. ومن ثمَّ نتعرض إلى مختلف الظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التجفيف، والتي تعطي تفسيرات لما يحدث أثناء العملية [انتقال الحرارة ، و انتقال الكتلة]، في نهاية هذا الفصل المقالات التي تتناول تقدير قيمة معامل الانتشار الرطوبي خلال عملية التجفيف.

و **الفصل الثالث** فتتحدث فيه عن أنواع المجففات الشمسية حسب كيفية تسخين هواء التجفيف [مباشرة ، غير مباشرة، مختلطة و هجينة] و حسب حركة الهواء [طبيعي و قسري]. و بعدها ركزنا على اللاقط الشمسي المسؤول على تسخين الهواء، مع التفصيل في أهم العوامل المؤثرة على المددود الطاقوي لللاقط الشمسي.

أما الفصل الرابع الذي يَصُمُّ العمل التجريبي فُقَسِّم إلى خمسة أجزاء و هي كالآتي:

الجزء الأول فيعتبر مدخل للجانب التطبيقي ويحتوي وصف لأجزاء المجفف الشمسي المجهز من غرفة التجفيف و اللاقط الشمسي مع ذكر أجهزة القياس المستعملة. وكذلك شرح لطريقة التجفيف و كيفية تحضير العينات.

لاحظنا عند قياس درجة حرارة الهواء الخارج من اللاقط الشمسي أنه لا يصل إلى درجة الحرارة المطلوبة لعملية التجفيف (50، 55، و 60 درجة) مما يدفعنا للإستعانة بمقاومة كهربائية، وبحساب نسبة مساهمة الطاقة الكهربائية بالنسبة للطاقة الكلية المستهلكة خلال العملية فوجدناها تقارب النصف، و لهذا قمنا في **الجزء الثاني** بتحسين المردود الطاقوي لللاقط الشمسي لغرض التقليل من مساهمة الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال عملية التجفيف خاصة في فصل الشتاء و في نهاية فصل الخريف و بداية الربيع. من أجل هذا أجرينا ثلاثة سلاسل تجريبية على أربعة نماذج للواقط شمسية ماثلة لللاقط المزود به المجفف لكن بأبعاد اصغر، حيث ثبتت على الماص الحراري لثلاثة منها طبقة من الرمل و بقي الرابع كشاهد. بعد مراحل تحضير الرمل من تصنيف، و معالجة كيميائية، و حرارية انطلقنا في السلاسل التالية و هي: السلسلة الأولى لإختيار أحسن مردود طاقي من بين ثلاث رمال كئبان من ثلاث مناطق مختلفة من العرق الشرقي و هي: ورقلة، توقورت و الوادي، الثانية لإختبار تأثير سمك طبقة الرمل على المردود طاقي اليومي لللاقط الشمسي المسطح، و الثالثة كانت لإختبار تأثير قطر حبيبات طبقة الرمل على المردود الطاقي اليومي لللاقط الشمسي المسطح، و في آخر الفصل طبقنا النتائج المتحصل عليها من السلاسل التجريبية الثلاث لمعرفة مدى تأثير طبقة الرمل (أحسن منطقة، سمك طبقة و قطر حبيبات رمل) في خفض نسبة مساهمة الطاقة الكهربائية في تسخين هواء التجفيف خلال عملية التجفيف.

و في **الجزء الثالث** فتم دراسة تأثير رطوبة الهواء الداخل لللاقط الشمسي و الهواء حول العينات المجففة، توزيع هواء التجفيف قبل وبعد اجتيازه العينات و تأثيره على حرارة العينة نفسها، مع رسم المحتوى الرطوبي على أساس جاف الذي من خلاله حسبنا المحتوى الرطوبي المختصر. وبمساعدة برنامج Curve Expert إستنتجنا أحسن نموذج رياضياتي يوصف لنا حركية التجفيف وكذلك حساب معامل الانتشار الرطوبي لشرائح البطاطس خلال عملية التجفيف وفق درجات حرارة هواء متغيرة من 50، 55 إلى 60 درجة.

وفي الجزء الرابع نُخصِّصُ لدراسة تأثير حرارة هواء التجفيف على البطاطس المجففة من حيث التغير اللوني، وكذلك تأثير

عملية إعادة الماء و المعالجة المسبقة بالملح للعينات على استرجاع اللون الاصلي للشرائح المجففة، و بطريقة برتراند

(Bertrand) حسبنا محتوى السكريات المرجعة. ثم تطرقنا لتأثر القيم الحسية للبطاطس المجففة بحرارة هواء التجفيف وفق المعايير

التالية: الذوق ، اللون، الرائحة و التقبل العام ومقارنة كل المعايير السابقة بالبطاطس الطازجة أي قبل إجراء عملية التجفيف.

بالإضافة لدراسة الحموضة التي تضم الرقم الهيدروجيني (pH) و مستوى الحموضة.

وفي الجزء الخامس تم حساب تكلفة تجفيف الكيلوغرام الواحد من البطاطس بواسطة المجفف الهجين الموجود على مستوى المخبر

و ذلك بتقدير الثمن الاجمالي للجهاز و تكلفة استهلاك الكهرباء و في آخر الجزء قمنا بذكر طرق تخفيض سعر التجفيف.

وفي النهاية قمنا بتلخيص النتائج التجريبية المتحصل عليها في الخاتمة مع إضافة جملة من التوصيات.

كما زدنا عملنا هذا بملحقين توضيحيين و هما:

✓ أ: الرمل و خائصه.

✓ ب: جدول برتراند (Bertrand) لحساب كتلة السكريات الموافقة لحجم برمنغنات البوتاسيوم.

الفصل الأول

البطاطس و أهميتها الاقتصادية

I. البطاطس و أهميتها الاقتصادية

I. 1. إكتشاف البطاطس:

أُكتشفت البطاطس منذ 8000 سنة بالقرب من بحيرة تيتيكاكا بـجبال الأنديز؛ على الحدود بين بوليفيا و بيرو من طرف هنود أمريكا الجنوبية. بدأت مجتمعات الصيادين التي دخلت قارة أمريكا الجنوبية لأول مرة قبل نحو 7000 عام بتدجين نباتات البطاطا البرية التي كانت تنمو بصورة وفيرة حول البحيرة. بعدها نشأت عدة حضارات وصولا لحضارة الإنكا التي كانت تعتبر البطاطس (و بصورة خاصة منتج شونو المصنوع من البطاطس المجففة) واحدا من أهم المواد الموجودة في مستودعات الدولة لإطعام المسؤولين و الجنود و كذلك كمخزون للطوارئ عقب فشل المحصول. [السنة الدولية للبطاطس، 2009] .

I. 2. إنتشار البطاطس عبر العالم:

في عام 1532م دخل الاسبان للبيرو و قضوا على حضارة الإنكا و حملوا معهم البطاطس إلى أوروبا حيث زرعت في جزر الكناري الاسبانية سنة 1565م ، و في 1573م و صلت اسبانيا و أرسلت درنات البطاطس كهدايا الى البابا في روما - ايطاليا- و منها الى فيينا بالنمسا. وفي عام 1597م زرعت بلندن و بعد فترة قصيرة انتشرت في فرنسا و هولندا.

و في أوائل القرن السابع عشر قام البحارة الأوروبيون بأخذ البطاطس إلى الهند و الصين و اليابان. و بحلول القرن

الثامن عشر وصلت البطاطس إلى أمريكا الشمالية [السنة الدولية للبطاطس، 2009]

أما قارة افريقيا فقد دخلتها البطاطس متأخرة في القرن التاسع عشر مع الإستعمار الأوروبي للدول الإفريقية.

I. 3. أصل تسمية البطاطس :

كلمة بطاطا هو الإسم الذي أطلقه سكان منطقة البحر الكاريبي على البطاطا الحلوة. و قد استخدم الإسبان نفس المصطلح بتاتا "patata" ثم انتقلت إلى اللغة الإنجليزية بوتيتو "patato، وفي البلاد العربية تسمى "بطاطس" وهي مأخوذة من الكلمة التركية باتاتس 'patates' والتي أخذت من الكلمة اليونانية 'patátes'. و في فرنسا فقد سميت تفاحة الأرض "pomme de terre". [السنة الدولية للبطاطس، 2009]

أما علمياً فقد أطلق عليها العالم Bauhim سنة 1596م الإسم الثنائي *Solanum tuberosum* و وصفها بأنها تشبه الطماطم في الأوراق و الثمار وتشبه الباذنجان في الأزهار [غمام، 2016].

4.I النبات:

البطاطس (*Solanum tuberosum*) نبات حولي عشبي ينمو إلى إرتفاع قد يصل الى 100 سم وينتج درنة – تسمى بطاطس أيضاً – غنية للغاية بالنشا. وتتبع البطاطس فصيلة الباذنجانيات من النباتات المزهرة. ويقسم النوع *Solanum tuberosum* الى نوعين هما:

➤ *andigena*: المتكيف مع ظروف النهار القصير ويزرع بصورة رئيسية في جبال الأنديز.

➤ *tuberosum*: أي البطاطا التي تزرع حالياً في أنحاء العالم، والتي يعتقد بأنها انحدرت من كمية صغيرة أدخلت الى أوروبا من بطاطا *andigena* التي تكيفت في وقت لاحق مع النهار الأطول.

5. I أهمية البطاطس :

تعد البطاطس (*Solanum tuberosum*) أحد المحاصيل الأكثر إنتاجاً لدرجة أنها تحتل مرتبة رابع أهم محصول غذائي في العالم، بعد كل من الذرة والقمح والأرز [Sepelev et al., 2015] كما هو وضح في الجدول (1.I) حسب إحصائيات سنة 2017.

الجدول (1.I) المحاصيل الأكثر إنتاجاً عالمياً.

المحاصيل الأكثر انتاجا	الكمية المنتجة (طن)
الذرة	1 134 746 667
القمح	771 718 579
الأرز	769 657 791
البطاطس	388 190 674

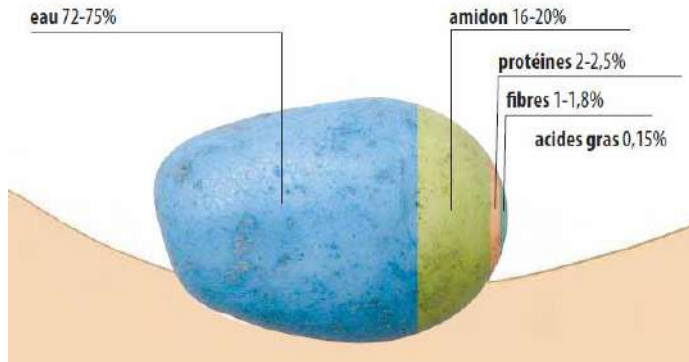
المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على إحصائيات FAOSTAT لسنة 2017

أعلنت الجمعية العامة للأمم المتحدة الاحتفال في عام 2008 بالسنة الدولية للبطاطس، وذلك في قرارها 191/60 المؤرخ 22 ديسمبر 2005. وقد اتخذت الجمعية العامة هذا الإجراء بعد أن أكدت ضرورة تركيز اهتمام العالم على الدور الذي يمكن أن تؤديه البطاطس في توفير الأمن الغذائي والقضاء على الفقر.

أما وطنيا فقد تم تنظيم يوما وطنيا حول البطاطس في 23 جويلية 2018 من تنظيم المجلس الوطني المهني المشترك لشعبة البطاطس.

I 6. القيمة الغذائية للبطاطس:

تصنف البطاطس كغذاء صحي وضروري، و تعتبر من الأغذية ذات المصدر الجيد للنشاء ، الكربوهيدرات ، الفيتامينات خاصة (B₆ و C) ، العناصر الغذائية (النحاس، البوتاسيوم، المنغنيز.... و الألياف الغذائية)، البروتينات بالإضافة لمضادات الاكسدة ، و مركبات خفض ضغط الدم [غمام، 2016]. الشكل (1.I) يوضح النسب المئوية لتكوين درنة البطاطس غير هذه الاخيرة تتغير من نوع إلى آخر، و كذلك ترتبط الخصائص المورفولوجية والكيميائية بشكل أساسي بنوع البطاطس.



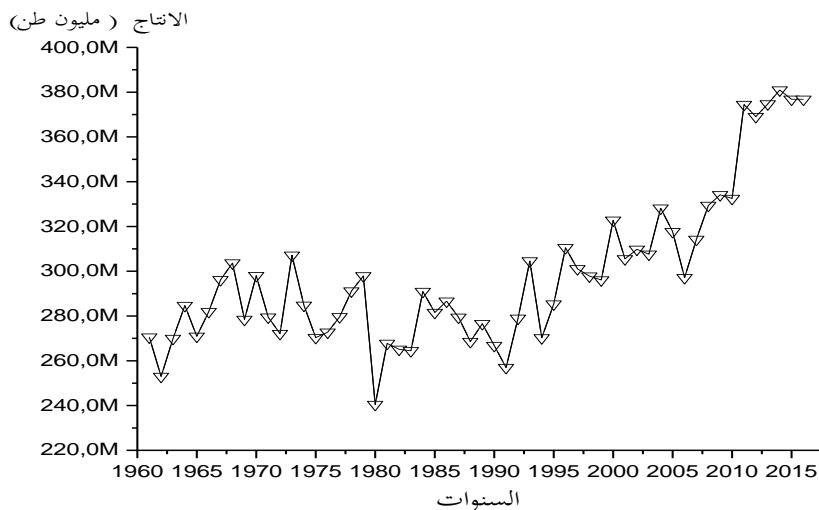
الشكل (1.I): تركيب درنة البطاطس

و تعتبر البطاطس ايضا مصدرا غنيا بالطاقة مقارنة مع محاصيل نشوية اخرى ذات اهمية كبيرة على الصعيد العالمي كالقمح والارز،

و لهذا حصل توسع كبير في زراعتها [الحمداي و آخرون، 2013]

I. 7 الإنتاج العالمي للبطاطس:

يشهد قطاع البطاطس في العالم حالياً تغيرات كبيرة، فحتى أواخر القرن الماضي كان المنتج في حدود 300 مليون طن. و في العشر سنوات الأولى من القرن العشرين زاد الإنتاج زيادة طفيفة، غير أنه وقعت زيادة كبيرة منذ ذلك الحين في إنتاج البطاطس ، حيث ارتفع إنتاجها إلى 388.1 مليون طن مزروعة على مساحة 19.3 مليون هكتار سنة 2017 كما هو مبين في الشكل (2.I).



الشكل (2.I) الإنتاج العالمي للبطاطس خلال الفترة 1961 - 2016

المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على إحصائيات FAOSTAT لسنة 2017

الجدول (2.I): الدول العشر الأكثر إنتاجا للبطاطس عالميا.

الدول الأكثر إنتاجا	الكمية المنتجة (طن)
1. الصين	99147000
2. الهند	48605000
3. روسيا الاتحادية	29589976
4. أوكرانيا	22208220
5. الولايات المتحدة الأمريكية	20017350
6. ألمانيا	11720000
7. بنجلاديش	10215957
8. بولندا	9171733
9. فرنسا	7342203
10. هولندا	7391881

المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على إحصائيات FAOSTAT لسنة 2017

تنتج البطاطس في 150 دولة [Bakal et al., 2010] و تحتل الصين المرتبة الأولى عالميا من حيث الانتاج و تليها كل من الهند و روسيا الاتحادية كما هو مبين في الجدول (2.I). كما يتم حصاد نحو ثلث مجموع كميات البطاطس في الصين والهند. أما الجزائر فتحلت المرتبة السادسة عشر دوليا [FAOSTAT, 2017].

8. I إنتاج البطاطس افريقيا:

تحتل الجزائر المرتبة الأولى افريقيا بإنتاج 4.6 مليون طن سنويا من إجمالي 25 مليون قبل كل من مصر و جنوب افريقيا وهذا حسب احصائيات سنة 2017 كما هو موضح في الجدول (3.I). أما المساحة المزروعة وطنيا فبلغت إلى 148692 هكتار [FAOSTAT, 2017].

الجدول (3. I): الدول الأكثر انتاجا للبطاطس أفريقيا سنة 2017.

الدول الأكثر انتاجا	الكمية المنتجة (طن)
1. الجزائر	4606403
2. مصر	4325478
3. جنوب افريقيا	2450541
4. المغرب	1924871
5. تنزانيا	1749213
6. كينيا	1519870
7. نيجيريا	1284368
8. ملاوي	1226603

المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على إحصائيات FAOSTAT لسنة 2017

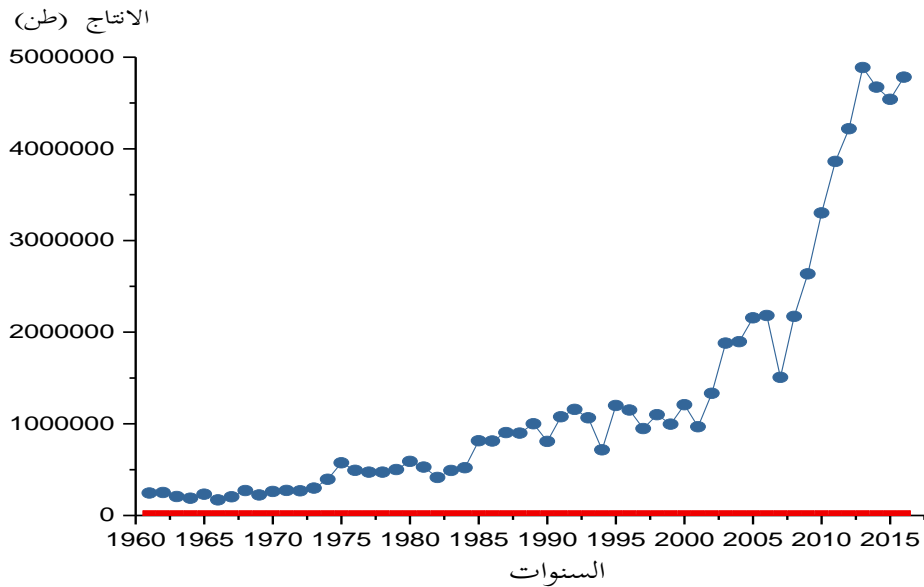
ثمانية دول افريقية فقط تجاوز محصولها من البطاطس عتبة المليون طن، أما باقي الدول الأخرى فلم يتعد انتاجها خلال محصول 2017 المليون طن كل منها.

9.I الإنتاج الوطني للبطاطس:

عقب إدخال البطاطس (*Solanum tuberosum*) الى الجزائر في منتصف العقد الأول من القرن التاسع عشر كانت تزرع بصورة رئيسية من أجل التصدير الى الأسواق الفرنسية. وما أن نالت الجزائر استقلالها عن فرنسا عام 1962 حتى كان المزارعون يحصدون 250000 طن سنوياً. و في بداية التسعينات و صل الإنتاج إلى حدود المليون طن سنويا، و في سنة 2005 اجتاز عتبة المليون طن سنويا. ومنذ ذلك الحين أصبحت البطاطس محصولاً هاماً للاستهلاك المحلي، و شهدت الجزائر

طفرة نوعية و تضاعف الإنتاج و حقق رقماً قياسياً سنة 2013 و بلغ 4.88 مليون طن كما هو موضح في الشكل (3.I) [FAOSTAT, 2017]. فيما تمثل المساحة المخصصة لزراعة البطاطس 29% بالنسبة للمساحة الكلية المزروعة

[MADR, 2014]



الشكل (3.I) الانتاج الوطني للبطاطس خلال الفترة 1961 - 2016

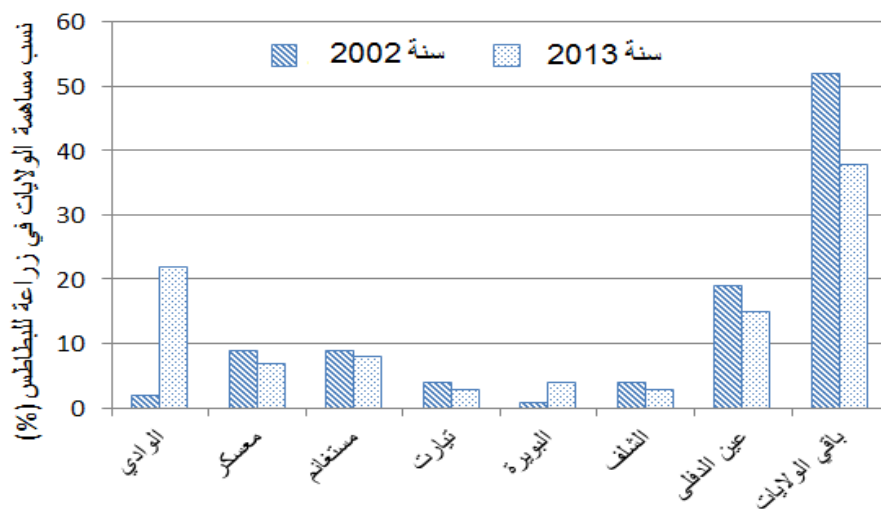
المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على إحصائيات FAOSTAT لسنة 2017

وصل الاكتفاء الذاتي للبطاطس بنسبة 100% وبدأ التفكير في التصدير، حيث أن الجزائر قد صدرت في عام 2017، ما لا يقل عن 817 طنا من البطاطس منها 500 طن إلى قطر وأكثر من 249 إلى إسبانيا. و في عام 2016 ، تم تصدير حوالي 2600 طن إلى 16 دولة ، منها 849 طن إلى دولة الإمارات العربية المتحدة و 605 طن إلى قطر و 487 طن إلى إسبانيا.

10.I الولايات الأكثر زراعة للبطاطس وطنيا :

في بداية القرن الواحد و العشرون كانت سبعة ولايات من الشمال تساهم في نصف المساحة المزروعة بالبطاطس و هي على الترتيب : عين الدفلى، معسكر، مستغانم، تيارت، الشلف و البويرة . أما ولاية الوادي فكانت تمثل سوى 2% . أما في خلال السنوات الأخيرة ابتداء من 2013 فقد احتلت ولاية الوادي مركز الريادة في زراعة البطاطس بنسبة 22%

من المساحة الوطنية المزروعة بالبطاطس، وتليها كل من : عين الدفلى ، مستغانم و معسكر، البويرة تيارت، الشلف. و الشكل (I. 4) يبين نسب مساهمة الولايات الاكثر زراعة للبطاطس وطنيا بين عامي 2002 و 2013.



الشكل (I. 4): نسب مساهمة الولايات الأكثر زراعة للبطاطس وطنيا بين عامي 2002 و 2013
المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على إحصائيات MADR, 2014

11.I معدل استهلاك الفرد الجزائري للبطاطس:

تعتبر البطاطس غذاء أساسي للمستهلك الجزائري حيث كان الاستهلاك الفردي في سنة 1970 لا يتعدى 20 كلغ للفرد سنويا، و في أواخر الثمانينات تضاعف الاستهلاك و بلغ 43.3 كلغ للفرد و ذلك في سنة 1988. و بعد ذلك شهد الاستهلاك مرحلة استقرار الى غاية السنوات الأولى من القرن العشرين بسبب الأوضاع المعيشية التي عاشها المجتمع الجزائري. و في السنوات الأخيرة فاق استهلاك الفرد الجزائري القنطار بحوالي 115.5 كلغ للفرد خلال سنة 2017 أي ثلاث مرات من المعدل العالمي و المقدر 31 كلغ للفرد سنويا، وذلك راجع للطفرة في الانتاج الوطني كما هو موضح في الشكل (I. 3). معدل استهلاك الفرد الإفريقي فهو في حدود 14 كلغ، و استهلاك الفرد المصري و الجنوب افريقي - الدول الأكثر انتاجا للبطاطس إفريقيا- فقدر بـ 44 كلغ للفرد سنويا. و بالنسبة لدول الجوار، فقد وصل استهلاك الفرد المغربي الى 55 كلغ للفرد سنويا و الفرد التونسي فيستهلك 30 كلغ للفرد سنويا فقط. فيما تحتل بلاروسيا المرتبة الأولى بمعدل 181 كلغ للفرد سنويا.

الجدول (I. 4) تطور استهلاك الفرد الجزائري خلال الفترة 1970-2017.

السنوات	1970	1988	1995	2002	2005	2011	2017
الاستهلاك (كلغ للفرد سنويا)	20	42	43.3	42.6	50	75	111.5

المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على دراسة Tria et al. (2013) و إحصائيات FAOSTAT لسنة 2017.

12.I الأصناف المزروعة في الجزائر:

على الرغم من أن كل أنواع البطاطس التي تزرع في أنحاء العالم تتبع نوعا نباتيا واحد فحسب و هو Solanum tuberosum، إلا أنه يوجد منها آلاف الأصناف التي تختلف بصورة كبيرة عن بعضها سواء من حيث الحجم أو الشكل و خاصة اللون. بينما يوجد 152 نوعاً مخصصاً للإنتاج والتسويق في الجزائر، و التي تنقسم الى نوعين حسب لون القشرة: [Ministère de commerce, 2013]

- ✓ البطاطس البيضاء: من أهمها سبونتا (Spunta) وفابولا (Fabula) .
- ✓ البطاطس الحمراء: من أهمها ديزيري (Désirée) ، و كوندور (Condor).

13.I لمحة حول ولاية الوادي:

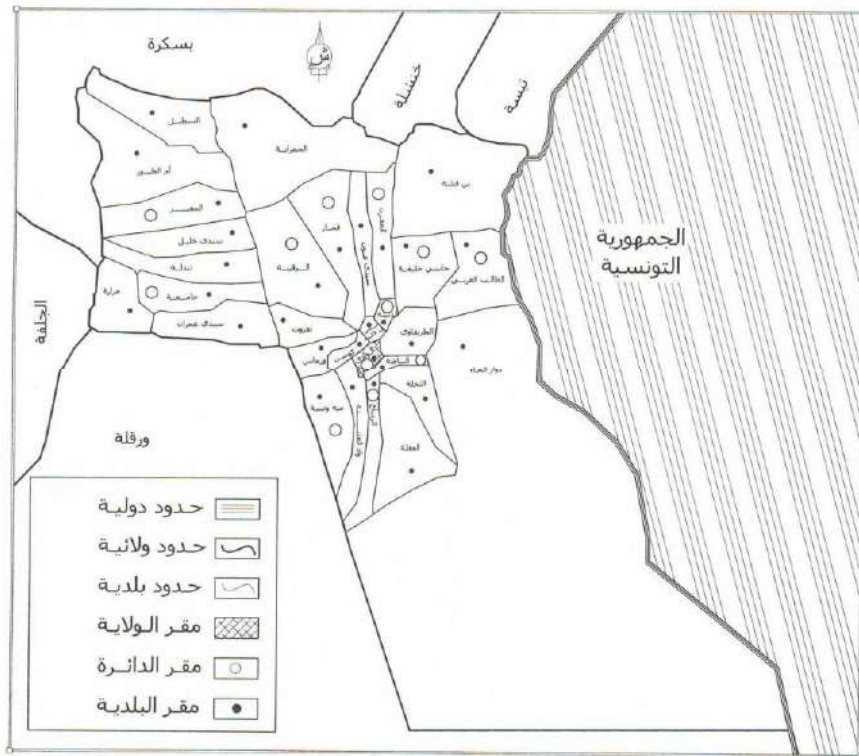
تتربع ولاية الوادي على مساحة تقدر بحوالي 44586.80 كلم² (أي بنسبة 1.87 % من مساحة التراب الوطني)، أما حدودها فهي كالتالي: [مديرية البرجة و متابعة الميزانية لولاية الوادي، 2017]

- ✚ ولاية تبسة من الشمال الشرقي .
- ✚ ولاية خنشلة من الشمال .
- ✚ ولاية بسكرة من الشمال الغربي .
- ✚ ولاية الجلفة من الغرب .
- ✚ ولاية ورقلة من الجنوب و الجنوب الغربي .
- ✚ الجمهورية التونسية من الشرق (حدود برية على مسافة 260 كلم) .

تميز ولاية الوادي بوجود منطقتين مختلفتين وهما:

- منطقة وادي ريغ تقع في الشمال الغربي من ولاية الوادي و تضم كلا من دائرتي جامعة و المغير، و تمتد هذه المنطقة الى توقورت بولاية ورقلة. و تغطيها نوع من الهضاب الحجرية.
- منطقة وادي سوف: تغطي الكتبان الرملية ثلاثة ارباع من مساحة المنطقة، التي تمتد الى العرق الشرقي الكبير، و تضم كل دوائر ولاية الوادي باستثناء دائرتي جامعة و المغير .

تضم ولاية الوادي 30 بلدية موزعة على 12 دائرة كما هو موضح في الخريطة (الشكل I. 5).



الشكل I. 5: خريطة ولاية الوادي [مديرية البرمجة و متابعة الميزانية لولاية الوادي، 2017]

14.I التعريف بالاراضي الزراعية لولاية الوادي:

تقدر المساحة الإجمالي للولاية 4458680 هكتار خلال سنة 2016 منها [مديرية البرمجة و متابعة الميزانية لولاية

الوادي، 2017]:

● المساحة الكلية الصالحة للزراعة في الولاية 1719600 هكتار وتمثل بنسبة 38.5% من المساحة الكلية للولاية

● المساحة المستغلة للزراعة 95000 هكتار وتمثل نسبة 5.5% من المساحة الصالحة للزراعة منها 88434 هكتار

مسقية

● المساحة المخصصة للمحاصيل الحقلية 44466 هكتار، منها 34000 هكتار بطاطس وتمثل بنسبة 76.5% من

مساحة المحاصيل الحقلية التي تضم الطماطم و البطيخ الأحمر و أنواع اخرى متنوعة من الخضروات.

15.I البطاطس في ولاية الوادي:

بعدها كانت الزراعة بالوادي محصورة في غرس النخيل و بعض المنتجات المعيشية عرفت المنطقة منذ سنة 1990 بداية زراعة البطاطس إلى حين 1995م التي كانت نقطة الإنطلاق الفعلية كتجربة من بعض الفلاحين في مساحات صغيرة في كل من بلدية قمار(مثال: تجربة شيخة تجاني في مارس 1995 [غمام، 2016]) ، تغزوت و الدييلة و بالاعتماد على طريقة الرش المحوري عن طريق إبتكار محاور سقي محلية الصنع مقتبسة من مبدأ عمل محاور السقي الامريكية الصنع، وفي سنة 2013 أصبحت ولاية الوادي الأولى على المستوى الوطني في زراعة البطاطس، و يعود هذا إلى عدة أسباب نذكر منها: [عمامرة و آخرون، 2016؛ غمام، 2016]

❖ المدودية المغربية للهكتار التي تم تحقيقها حيث بلغت 200 قنطار في الهكتار منذ السنوات الاولى.

❖ إبتكار محاور سقي محلية الصنع وفق خصائص المنطقة الصحراوية.

❖ الإعتماد على التسميد العضوي بدرجة كبيرة.

❖ إمكانية الزراعة في دورتين: مبكرة في شهر سبتمبر و متأخرة في شهر مارس.

❖ وفرة اليد العاملة.

❖ المساعدة التقنية من طرف مديرية المصالح الفلاحية لولاية الوادي وبالتعاون مع المعاهد المختصة و المعهد التقني

لتطوير الزراعة الصحراوية خلال الفترة بين 1995-1997.

❖ دعم فاتورة الكهرباء بنسبة 50%.

16. I انتاج ولاية الوادي للبطاطس:

بعد المبادرات الفردية و البسيطة لزراعة البطاطس بمنطقة سوف عرف الانتاج قفزة نوعية (الجدول 5.I) حتى بلغت 250 قنطار في الهكتار الواحد خلال سنة 1995. و ابتداء من سنة 1995 تحصل الفلاحون على نتائج باهرة و تعدى الانتاج عتبة المليون قنطار سنة 2004 و استقر مردود الهكتار عند 260 قنطار خلال الفترة من 2003 الى 2006. غير ان مردود الهكتار انخفض الى 237 قنطار سنة 2007 بالمقارنة بالسنوات التي سبقته بسبب استرداد البذور الفاسدة و انتشار الامراض التي أثرت على الانتاج على مستوى الوطن ككل كما هو موضح في الشكل (3.I) مما أدى إلى ارتفاع سعر الكيلوغرام الواحد إلى أكثر من 100 دينار جزائري. و منذ ذلك الحين ظل الانتاج ينمو من سنة إلى أخرى غير أن النمو الذي يلفت الانتباه هو سنة

2013 بما يفوق 11.7 مليون قنطار و منذ تلك السنة لم ينخفض الانتاج عن مستوى عشرة ملايين قنطار، غير أنه سنة 2014 انخفض الانتاج نوعا ما بسبب وفرة الانتاج سنة 2013 و ضعف التحكم في فائض الانتاج عن طريق تخزينه تصديره لجلب العملة الصعبة او التحويل الصناعي، كما سينجز في الأفق القريب بولاية عين الدفلى مصنع لتحويل البطاطس من طرف مستثمرين أمريكيين و هذا في إطار اتفاقية وقعت مع متعاملين جزائريين.

الجدول: ارتفاع إنتاج البطاطس لولاية الوادي من سنة 1991 إلى سنة 2016

الموسم الفلاحي	المساحة (هكتار)	الانتاج (قنطار)	المرود (قنطار/ هكتار)	نسبة المساهمة في الانتاج الوطني (%)
1992-1991	120	24000	200	0.20
1994-1993	170	40800	240	0.56
1995-1994	400	100000	250	0.83
1998-1997	640	160000	250	1.54
2001-2000	875	223120	255	2.30
2002-2001	1200	300000	250	2.24
2003-2002	2953	767700	260	4.40
2004-2003	4429	1151540	260	6.07
2005-2004	6778	1777000	260	8.24
2006-2005	7289	1873900	257	8.59
2007-2006	7363	1802070	245	8.36
2008-2007	11415	2708900	237	12.47
2009-2008	14200	3588900	252	13.61
2010-2009	18800	6206320	330	18.80
2011-2010	24000	7221700	300	18.69
2012-2011	30200	11176000	370	26.48
2013-2012	35000	11725000	335	24.00
2014-2013	33000	10890000	330	23.30
2016-2015	34000	11180000	329	23.50

المصدر: من إعداد الباحث و بالاعتماد على العاتي (2011)، عمامرة و آخرون(2016)، مديرية البرمجة و متابعة الميزانية لولاية الوادي(2017)

و إحصائيات FAOSTAT لسنة 2016

من الجدول (5.I) نلاحظ ان الانتاج في ولاية الوادي إرتفع من حوالي 24 ألف إلى أكثر من 11 مليون قنطار و هذا خلال الفترة الممتدة من سنة 1992 إلى 2016 . وكذلك يبين الجدول (5.I) نسبة مساهمة إنتاج ولاية الوادي من البطاطس في الانتاج الوطني على فترة ربع قرن من 1992 إلى غاية 2016 حيث تقارب المساهمة في السنوات الاخيرة ربع الانتاج الوطني بعدما كانت تمثل اقل من واحد في المئة في اوائل التسعينات.

الفصل الثاني

مفاهيم عامة حول التجفيف

II. مفاهيم عامة حول التجفيف

1.II تمهيد:

التجفيف هو إحدى الطرائق القديمة المستعملة بشكل واسع لحفظ الأغذية التي تحتوي كمية كبيرة من الماء ، و قد أُستعمل منذ العصور القديمة و قبل الآف السنين من طرف البابليون، و المصريين، و اليونانيون و الرومان في حفظ بعض أنواع الفواكه، الخضرا، المحاصيل الحبوبية، و اللحوم، و الأسماك و الحليب. يعمل التجفيف على إيقاف نشاط الكائنات الحية المجهرية، البكتيريا، التخمر و الإنزيمات. مما يؤدي الى توقف التلف و يحسن مدة الحفظ ، و تكون الأغذية مركزة، سهلة التخزين و خفيفة الوزن [الحلفي و آخرون، 2011؛ كلاوي و آخرون ، 2010] .

II . 2 خصائص الجسم الرطب:

ليكن كتلة "m_h" لجسم رطب يحتوي على "m_e" من الماء و كتلة "m_s" من المادة الصلبة. [Daguenet, 1985]

$$(1-II) \quad m_h = m_e + m_s \quad [Kg]$$

يتميز الجسم الرطب بنوعين من الرطوبة: الرطوبة النسبية "X_h" و الرطوبة المطلقة "X_a".

- الرطوبة النسبية و يطلق عليها ايضا المحتوى الرطوبي، الرطوبة النسبية ذات الأساس الرطب او المحتوى الرطوبي ذو الأساس الرطب، و يعبر عليها بالنسبة المئوية "%"، و تحسب كما يلي:

$$(2 - II) \quad X_h = \frac{m_e}{m_h} = \frac{m_e}{m_e + m_s} \quad [%]$$

- الرطوبة المطلقة و يطلق عليها ايضا نسبة الرطوبة، الرطوبة المطلقة ذات الأساس الجاف او المحتوى الرطوبي ذو الأساس الجاف، و يعبر عليها بكلغ ماء لكل كلغ من المادة الجافة "كلغ/كلغ"، و تحسب على النحو التالي:

$$(3-II) \quad X_a = \frac{m_e}{m_s} \quad \left[\frac{Kgd' eau}{Kgm_s} \right]$$

نستطيع إستنتاج علاقة تربط المقدارين السابقين وهي كالتالي [Bonazzi et al., 2003]:

$$(4-II) \quad X_a = \frac{X_h}{1 - X_h} \quad \left[\frac{Kgd' eau}{Kgm_s} \right]$$

$$(5-II) \quad X_h = \frac{X_a}{1 + X_a} \quad [%]$$

3.II النشاط المائي:

النشاط المائي "Water activity (a_w)" هو عامل رئيسي ومهم في عمليات تصنيع الأغذية؛ مثل: النمو المايكروبي، وتكوين السموم، والتفاعلات الإنزيمية. النشاط المائي هو الذي يحدد العمر الخزن للغذاء، و يعرف أيضا بضغط البخار النسبي [الشطي و آخرون، 2014].

توصل سكوت عام 1952 الى أن جودة تخزين الطعام لا تعتمد على المحتوى الرطوبي بل على النشاط المائي [كلاوي و آخرون، 2010] ، الذي يعرف كما يلي: [Alwan, 2013]

$$a_w = P/P_0 \quad [-] \quad (6-II)$$

فعالية الماء في منتج ما هي نسبة الضغط الجزئي لبخار الماء "P" على ضغط بخار الماء النقي في حالة التشبع "P₀" في نفس درجة الحرارة [الشطي و آخرون ، 2014 ؛ كلاوي و آخرون ، 2010].

يُعرف النشاط المائي أيضا على أنه دالة لكيفية إرتباط الماء في الغذاء، حيث أن النشاط المائي للماء الحر يساوي 1 ، الماء المرتبط بشكل ضعيف يكون أكبر من 0.7 ، الماء المرتبط بشكل معتدل يكون أكبر من 0.3 و اقل من 0.7 ، أما الماء المرتبط بقوة يكون النشاط المائي له اقل من 0.3 [الشطي و آخرون ، 2014].

II. 4 أشكال الرطوبة في المواد الغذائية:

توجد الرطوبة في المواد الغذائية في الاشكال التالية:

- **الرطوبة الحرة:** وتمثل الرطوبة الموجودة بشكل غير مرتبط وتشكل الجزء الكبير من النسبة التي تحتويها المواد الغذائية.
- **الرطوبة المرتبطة:** يرتبط الماء مع بعض المكونات الأخرى التي تشكل المادة الغذائية ويسبب هذا الماء المرتبط ضغط بخار اقل من الضغط الذي يولده الماء الحر وقد يوجد هذا الماء في الانابيب الشعرية وفي عصير الخلايا او مرتبط مع بعض المواد الكيماوية التي تتكون منها المادة الغذائية.

II. 5 سرعة و حركية التجفيف:

سرعة التجفيف هي نسبة كتلة السائل المتبخر بالنسبة لوحدة الزمن (كغ ماء/كغ مادة جافة. ثا) [مجيد و آخرون، 2007].

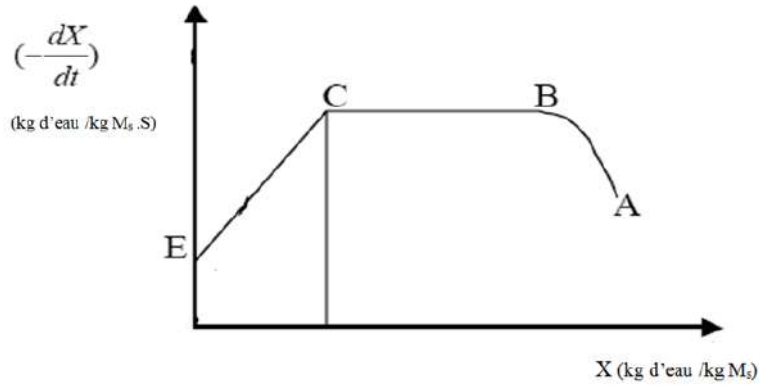
$$(7-II) \quad -\frac{dX}{dt} = \frac{X_{i-1} - X_i}{t_{i-1} - t_i} \quad \left[\frac{kg \text{ d'eau}}{kg \text{ m}_s \cdot s} \right]$$

حيث:

- $dX = X_{i-1} - X_i$: تغير المحتوى الرطوبي الجاف للمادة بين اللحظتين «i» و «i-1» (كغ ماء/كغ مادة جافة.ثا).
- dt : فرق الزمن بين اللحظتين «i» و «i-1» .

ندرس حركية التجفيف لمختلف المواد بواسطة المنحنى Krischer $\left(-\frac{dX}{dt}\right)$ بدلالة X (المحتوي الرطوبي

الجاف)، هذه المنحنى نحصل عليها عادة في مختلف الشروط التجريبية (درجة الحرارة، سرعة هواء التجفيف، الرطوبة...)



الشكل (1-I): منحنى سرعة التجفيف (منحنى Krischer)

من خلال المنحنى الممثل لسرعة التجفيف نلاحظ ثلاثة مراحل رئيسية وهي:

المرحلة الاولى : مرحلة تزايد سرعة التجفيف (منطقة B - A)

في هذه المرحلة يزيد انتقال الكتلة داخليا عنه خارجيا فيصبح سطح المادة الرطبة مشبعا دائما بالماء مما يعني أن انتقال الكتلة داخليا يزيد عما يمكن للسطح أن ينقله خارجيا. هذه المرحلة قصيرة جدا وغير واضحة إذا كان المنتج كبير الحجم أو كان الفرق كبير بين درجة حرارة هواء التجفيف والمادة المراد تجفيفها .

المرحلة الثانية : مرحلة السرعة الثابتة (منطقة C-B)

في هذه المرحلة تبقى سرعة تجفيف ثابتة، الرطوبة تنتقل إلى السطح في شكل سائل تحت فعل القوة الشعرية، يحدث توازن بين الانتشار الغشائي والية انتقال الرطوبة الداخلية إلى السطح، درجة الحرارة تبقى منتظمة في أنحاء المادة لان التدفق الحراري يستعمل في تبخير الماء إلى السطح.

المرحلة الثالثة : مرحلة التباطؤ (منطقة E-C)

خلال هذه المرحلة القوة الشعرية غير كافية لإخراج الماء إلى السطح، عندها تقل قيمة محتوى الرطوبة عند السطح عن قيمة محتوى الرطوبة الحرج، عندئذ تكون نسبة الرطوبة للهواء المجاور للسطح أقل من نسبة الرطوبة للتشبع. و يلاحظ عند تجفيف المحاصيل الزراعية أن المرحلة الأولى و الثانية قصيرة جدا زمنيا بالمقارنة بالمرحلة الثالثة مما يعني إمكانية إهمالهما. و هذا ما أثبتته فحلول و آخرون (2009) عند تجفيف مادة البطاطس نوعية سيونتانا.

6.II نمذجة منحنيات التجفيف:

إن فهم الآليات التي تحدث أثناء عملية التجفيف مهم جداً، و ذلك من خلال إيجاد نموذج رياضي يمكن أن يصف السلوك الفيزيائي لهذه العملية. المحتوى الرطوبي المختصر $X_r(t)$ للعينة في أي لحظة زمنية معينة t تحسب بالعلاقة التالية:

[Boudhrioua et al., 2008 ;El-Sebail et al., 2013 (8 –

$$X_r(t) = \frac{(X(t) - X_{eq})}{(X_0 - X_{eq})} \left[\frac{kg \text{ d'eau}}{kg \text{ m}_s} \right]$$

علماء II)

أن:

$X(t)$: المحتوى الرطوبي للعينة في لحظة زمنية معينة t ، تم تحديده سابقا كما هو ممثل في الشكل (5.IV)

X_0 : المحتوى الرطوبي الابتدائي للعينة و تم تحديدها بالنسبة للعينات المراد تجفيفها بواسطة جهاز التحليل الرطوبي

المشروح اعلاه.

X_{eq} : المحتوى الرطوبي للعينة عند التوازن و تحسب بالعلاقة التالية [Touati, 2008]:

$$X_{eq} = \frac{C.K.X_M.a_w}{(1-K.a_w)(1-K.a_w+C.K.a_w)} \left[\frac{kg \text{ d'eau}}{kg \text{ m}_s} \right]$$

(9 – II)

حيث:

❖ K و C : ثوابت

❖ a_w : النشاط الماء أو الرطوبة النسبية لهواء التجفيف (راجع فقرة النشاط المائي)

❖ X_m : المحتوى الرطوبي في حالة التشبع (كغ ماء/كغ مادة جافة.ثا).

يلخص الجدول (1.IV) النماذج العشرة المستعملة بشكل واسع لوصف حركية تجفيف أغلب الاغذية.

الجدول (1.IV): النماذج التجريبية المطبقة على منحنيات التحفيف.

المراجع	صيغة النموذج	اسم النموذج
Lewis, 1921	$X_r(t) = \exp(-k.t)$	Newton (Lewis)
Henderson et Pabis, 1961	$X_r(t) = a \exp(-k.t)$	Henderson et Pabis
Page, 1949	$X_r(t) = \exp(-k.t^n)$	Page
Yagcioglu et al., 1999	$X_r(t) = a \exp(-k.t) + c$	Logarithmique
Sharaf-Elden et al., 1980	$X_r(t) = a \exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.a.t)$	Deux termes Exponentiels
Kassem, 1998	$X_r(t) = a \exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.b.t)$	Approche de la diffusion
Verma et al., 1995	$X_r(t) = a \exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k_0.t)$	Verma et autres
Henderson, 1974	$X_r(t) = a \exp(-k_0.t) + b \exp(-k_1.t)$	Deux termes
Midilli et al., 2002	$X_r(t) = a \exp(-k.t^n) + bt.$	Midilli et Kucuk
El-Sebaï et al., 2013	$X_r(t) = A \exp(-c(t/L^2))$	Equation de diffusion de Fick

حيث:

✓ k : ثابت التحفيف (ثا⁻¹)

✓ k₀ ، k₁ ، a ، b ، c ، n ، L : ثوابت مطلوب تعيينها.

أفضل نموذج يتم اختياره يجب أن يعطي معامل تحديد عال «r» و أقل قيمة لمربع كاي «S». و القيم الإحصائية

تُحسب من المعدلات الرياضية التالية [Touati, 2008]:

$$(10-II) \quad r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{eq_{exp,i}} - \bar{X}_{eq_{exp,i}}) \cdot (X_{eq_{pre,i}} - \bar{X}_{eq_{pre,i}})}{\sqrt{(X_{eq_{exp,i}} - \bar{X}_{eq_{exp,i}})^2} \cdot \sqrt{(X_{eq_{pre,i}} - \bar{X}_{eq_{pre,i}})^2}} \quad [-]$$

علما أن:

$$(11-II) \quad \bar{X}_{eq_{exp,i}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{eq_{exp,i}} \quad [-]$$

$$(12-II) \quad \bar{X}_{eq_{pre,i}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{eq_{pre,i}} \quad [-]$$

$$(13-II) \quad S = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{r_{exp,i}} - X_{r_{pre,i}})^2}{N-n} \quad [-]$$

حيث:

❖ $X_{\Gamma_{exp,i}}$: المحتوى الرطوبي للقياسات التجريبية في النقطة « i ».

❖ $X_{\Gamma_{pre,i}}$: توقع المحتوى الرطوبي للنقطة « i ».

❖ N : عدد القيم التجريبية.

❖ n : ثابت النموذج.

تطرت العديد من الأبحاث لإختيار أحسن نموذج رياضياتي يصف لنا حركية التجفيف عملية تجفيف البطاطس حيث

أجمعوا أن نموذج Midilli et Kuck و منهم: Naderinezhad et al (2015) و Darvishi (2012)

II.7 العوامل المؤثرة في عملية التجفيف:

يوجد ثلاثة أنواع من العوامل التي تؤثر ايجابا أو سلبا في سير عملية التجفيف منها ما يتعلق بهواء التجفيف و منها ما يتعلق بالمادة المراد تجفيفها و كذلك تصميم المجفف يستطيع أن يؤثر على سير العملية (سيشرح في أنواع المجففات بالفصل الثالث)

II.7.1 تأثير العوامل المتعلقة بالهواء على حركية التجفيف:

تتمثل عوامل هواء التجفيف التي يمكن ان تتغير خلال عملية التجفيف هي: درجة الحرارة، و السرعة (التدفق)، الضغط و الرطوبة

II.7.1.1 تأثير درجة حرارة الهواء على عملية التجفيف:

لدرجة حرارة هواء التجفيف تأثير مباشر في سرعة عملية التجفيف, هذا التأثير متعلق كمية الحرارة التي تكتسبها المادة وكذلك بدرجة حرارة المادة ذاتها, أي سرعة انتشار الماء داخل المادة تزداد بالحرارة و التالي ينخفض زمن التجفيف، و هذا ما اثبتته العديد من الدراسات نذكر منها: Naderinezhad et al (2015) و فحلول و اخرون (2009)

II.7.1.2 تأثير سرعة الهواء على عملية التجفيف

لسرعة هواء التجفيف كذلك تأثير في خفض زمن التجفيف، غير أن هذا التأثير يكون جليا و واضحا في درجات الحرارة المنخفضة بالمقارنة بالدرجات المرتفعة كما بينه Naderinezhad et al (2015) في دراسته.

3.1.7.II تأثير ضغط الهواء على عملية التجفيف:

حسب دراسة فحلول و آخرون (2009) عند تجفيف مادة البطاطس نوعية سبوتنا تبين أن لضغط الهواء أيضا تأثير في تقليص مدة التجفيف، إلا أنَّ هذا التأثير كان واضحا إذا تم خفض الضغط الى 20 سم زئبقي (0.026 ضغط جوي) بينما لم يلاحظ أي تأثير عند التجفيف تحت ضغط 40 و 60 سم زئبقي (0.052 و 0.079 ضغط جوي). و يبقى هذا التأثير أقل أهمية من تأثير درجة حرارة هواء التجفيف.

4.1.7.II. تأثير رطوبة هواء التجفيف :

نسبة الماء في الهواء تلعب دور مهم في سير حركية التجفيف في عدد من المواد مثل سرعة الهواء, هذا التأثير يكون واضح في بداية التجفيف وينخفض بارتفاع درجة حرارة الهواء. غير أن هذا العامل طبيعي و لا يمكن التحكم فيه.

2.7.II العوامل المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها المؤثرة في عملية التجفيف:

يوجد العديد من العوامل المتعلقة بالمادة المراد تجفيفها التي تؤثر في سير عملية التجفيف منها:

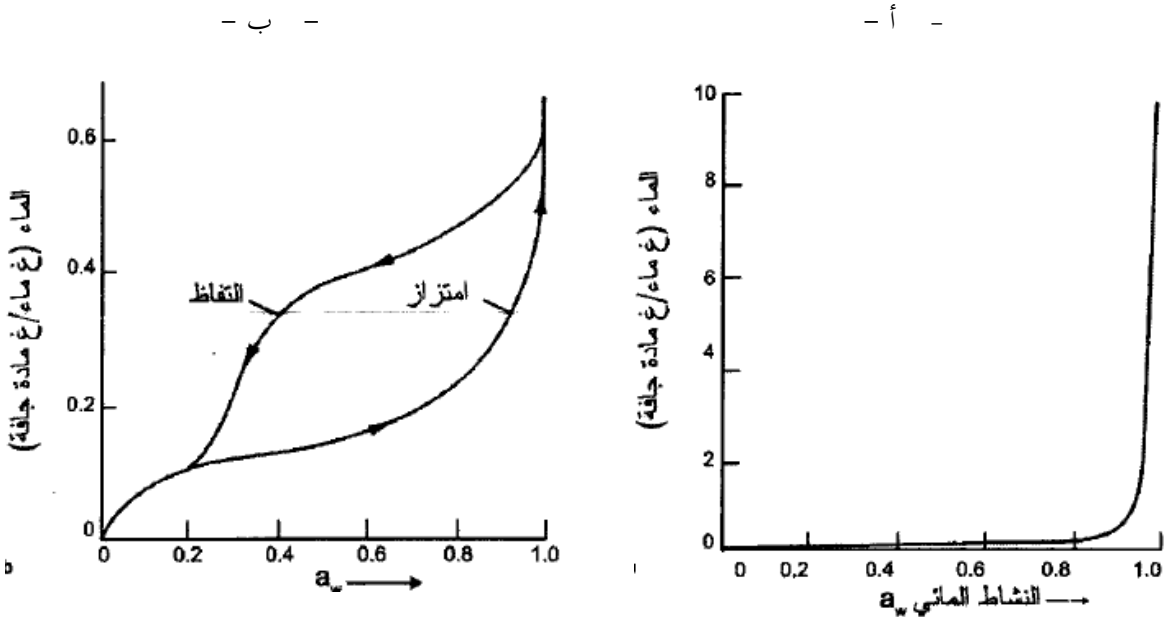
- **رطوبة المادة الابتدائية:** في نفس المادة تتغير الرطوبة الابتدائية من عينة إلى أخرى، لذا يجب إختيار عينات لها نفس الرطوبة الابتدائية.
- **سمك المادة:** كلما زاد سمك عينات التجفيف زادت مدة التجفيف، وهذا ما أثبتته العديد من الدراسات و نذكر منها دراسة (Zhu et al. 2014).
- **شكل المادة:** بينت دراسة (Naderinezhad et al. 2015) أن بنفس مساحة عينة التجفيف التي تقدر 20 سم²، شرائح البطاطس المربعة كانت اسرع تجفيفا من الشرائح الدائرية و هذا راجع لتوفيرها مساحة جانبية أكبر من الشكل الدائري.

II 8. التساوي الحراري (Isothermes de sorption):

التساوي الحراري هو عبارة عن نسبة الماء في حالة التوازن للمادة المدروسة بدلالة الرطوبة النسبية للهواء المحيط أو فاعلية الماء بين الهيكل المسامي الصلب (microscopique) في درجة حرارة معينة. هذه الظاهرة تتميز بالعديد من التفاعلات الميكروسكوبية وجزئيات الماء. يتم تعيين المنحنى المميز لها تجريبيا فهي لا تخضع لنظرية محددة، ويتم ذلك بوضع المادة في حالة توازن مع الهواء الرطب في تركيب خاص، ثم نقوم بقياس رطوبة المادة والرطوبة النسبية للهواء الرطب المحيط بهذه المادة.

منحنيات التساوي الحراري تزودنا بمعلومات على توزيع ومدى شدة روابط جزيئات الماء، كذلك الجاهزية الوظيفية للمواد البيوكيميائية والبيولوجية. فكل التغيرات في النوعية أو في التركيب متعلقة بالتغيرات في التساوي الحراري .

يظهر خط تساوي حرارة العَبِّ للغذاء ذي المحتوى الرطوبي المنخفض على شكل إحداثي عمودي ممتد كما الشكل (I-4، ب)، مقارنة بالشكل (I-4، أ) [كلاوي و آخرون، 2010] .



الشكل (I-2): خط التساوي الحراري للغذاء: أ: ذو المحتوى الرطوبي العالي، ب: ذو المحتوى الرطوبي المنخفض [كلاوي و آخرون، 2010] .

يُظهر الشكل (I-1، ب) أن خط تساوي حرارة الإلتفاز (Désorption)، الذي يوضح مسار عملية التجفيف، يقع أعلى قليلاً من خط تساوي حرارة الأمتزاز (Adsorption) المتعلق بتخزين الغذاء الحساس للرطوبة. وكقاعدة، يتبدل موضع منطقة الالتحام عند تكرار الامتزاز و الالتفاز بنفس العينة [كلاوي و آخرون، 2010] .

يمكن رسم المنحنى.

❖ خط تساوي حرارة الامتزاز (Adsorption) يعين تجريبياً عندما تكون المادة جافة.

❖ خط تساوي حرارة الالتفاز (Désorption) يعين تجريبياً عندما تكون مشبعة بالماء.

ان دراسة منحنيات محتوى الرطوبة عند الاتزان لكل من حالي الامتزاز و الالتفاز مهمة في تحليل ودراسة الظروف المناسبة

للخزن وإختيار ظروف وطريقة تجفيف المواد [Alwan, 2013].

9.II أهداف تجفيف الغذاء :

يهدف التجفيف إلى التخلص من الماء الحر الموجود في المادة الغذائية بشكل تام و بالتالي يتم: [اشتية و آخرون، 2010]

- ♦ إزالة الماء اللازم لنمو الاحياء الدقيقة و الانزيمات المسؤولة عن تلف الغذاء.
- ♦ تركيز المادة الغذائية ضمن وحدة الوزن مما يسهل نقلها و تخزينها و كذلك تعبئتها.
- ♦ توفير الغذاء في غير موسمها الذي يُنتج فيه.
- ♦ عدم الحاجة إلى مواد حافظة لتثبيت الغذاء من التلف.

10.II طرائق التجفيف:

هناك عدة طرائق للتجفيف و لكل طريقة ميزاتھا الخاصة كما أن الفقد الذي يحدث في المكونات الغذائية تحدده مجموعة من العوامل من أهمها طريقة التجفيف المستخدمة [الحلفي و آخرون، 2011]. و يمكن تصنيف نوع التجفيف حسب طريقة تسخين المادة المراد تجفيفھا و هي :

1.10.II التجفيف بالحمل:

في هذا النوع من التجفيف تسلط الحرارة بصورة مباشرة على المادة الرطبة أو المادة السائلة بواسطة الهواء الساخن و في نفس الوقت يحمل الهواء الرطبة منه [الحلفي و آخرون، 2011].

2.10.II التجفيف بالتوصيل:

أما في هذا النوع من التجفيف فيكون الاتصال بين المادة الرطبة والجدار المعدني الساخن من طرف تيار الهواء الساخن، تستعمل تقنية التوصيل في تجفيف السوائل و العجائن و عندما يكون الجسم الصلب ممزوج في محلول (جسم معلق).

3.10.II التجفيف بالأموال القصيرة:

من الطرق الحديثة التي بدأ إستخدامھا في السنوات الأخيرة هو التجفيف بإستخدام الأموال القصيرة (micro-onde) حيث يعرض المنتج إلى مجال كهربي و مغناطيسي و بترددات جد عالية مما تؤدي إلى زيادة حركة جزيئات الماء فتسبب في إرتفاع درجة حرارتھا و بالتالي تحولھا إلى بخار ماء، علما أن هذه الترددات تصل بسهولة إلى أعماق المادة العضوية [الملاح و

آخرون، 2005]. و قد بين Yan et al. (2011) أن إستعمال هذه الطريقة من التجفيف يمكن أن ينخفض زمن التجفيف البطاطا الحلوة ستة مرات مقارنة بطريقة التجفيف بالهواء الساخن. مما يؤدي إلى منتجات جافة ذات تغيرات لونية أقل.

11.II المحتوى المائي:

تتراوح نسبة الرطوبة في الاغذية الطازجة ما بين 20 الى 90%. و من أجل التخزين الأيمن تتطلب الاغذية مستويات مختلفة من الجفاف مثلا: 20% للثمار و 10% للخضروات، و ما بين 10 - 15% للحبوب. و إذا ما تم تجفيف الغذاء بشكل ملائم، فإنه لا يمكن رؤية الرطوبة فيه عند قطعه [اشتية و آخرون، 2010].

12.II خصائص المادة المتأثرة بحرارة هواء التجفيف:

هناك عدة خصائص تتأثر خلال معاملتها بهواء التجفيف الساخن و نذكر منها:

1. 12.II التغير في اللون:

درجة الحرارة العالية ووقت التجفيف الطويل يؤدي إلى تدهور اللون الأصلي للغذاء. اللون في الغذاء يمكن الحفاظ عليه عن طريق الحد من التعرض للحرارة أو تطبيق درجة حرارة عالية ووقت قصير [Rahman, 2007].

2. 12.II خاصية استرجاع الماء:

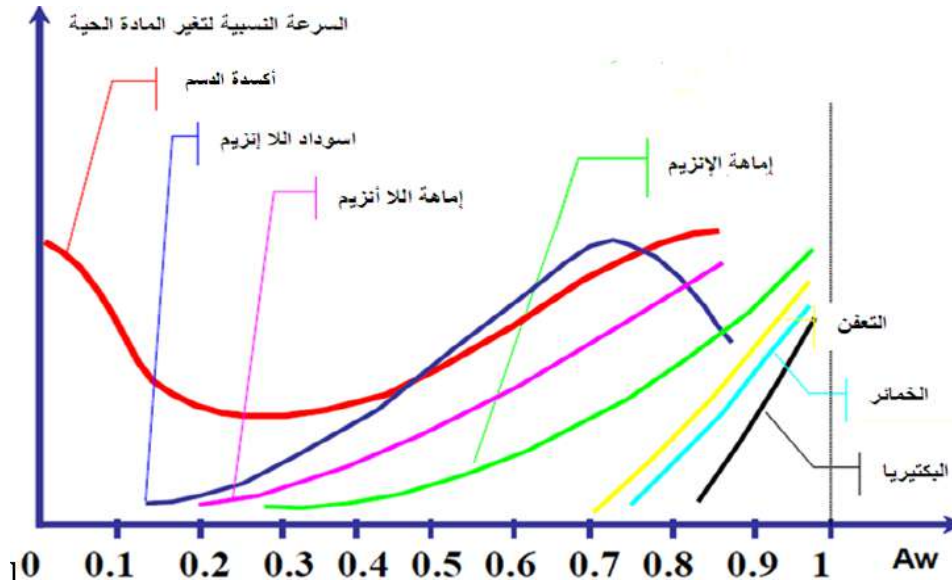
من الخصائص التي تتأثر بعملية التجفيف هي خاصية استرجاع الماء "Rehydration" و التي لا تسترجع طبيعتها الاصلية، فخاصية استرجاع الماء هو عملية ارجاع الماء مرة ثانية للمادة المجففة، و هي ليست عملية بسيطة كالتجفيف فمطاطية الخلايا و القوة الانتفاخية للمركبات النشوية كالبطاطس مثلا و كذلك الأصماغ في داخل الخلايا تعتبر أيضا صفات مهمة و أساسية في عملية استرجاع الماء ، و أن هذه الصفات تتأثر كثيرا بدرجة الحرارة التجفيف مما يجعل الغذاء أقل قدرة على إمتصاص الماء مرة ثانية [الشطي و آخرون، 2014]. فقد درس Singh et al. (2011) تأثير درجة حرارة هواء التجفيف المتغير من 50، 60، 70، 80 إلى 90 درجة على شرائح البطاطا الحلوة المكعبة الشكل (1.2 x 1.2 x 1.2م) و بسرعة هواء ثابتة تقدر ب3.5م/ثا. فلاحظ الباحثان بواسطة المجهر تأثيرا لدرجة الحرارة على انكماش خلايا البطاطا الحلوة، حيث كلما إنخفضت درجة حرارة هواء التجفيف كلما كان إنكماش الخلايا كبيرا.

12.II. 3 التغير الفيزيائي والميكانيكي في المادة المجففة:

التجفيف في معظم الأغذية يمكن أن يجرى بعض التغيرات (تلف)، ونذكر منها حالة البطاطس إذ يمكن خلال صعود الماء للسطح أن يحمل معه النشاء، وعندها يتجمد ويجعل طبقة غير نافذة للماء و منه يعيق سير عملية التجفيف ككل [Fahloul et al., 2009].

13.II علاقة النشاط المائي بالآثار الجانبية للمادة المجففة:

فعالية الماء لها الأثر الكبير في تحديد الخصائص الفيزيائية، الميكانيكية، الكيميائية و الميكروبيولوجية للمادة الرطبة (الحية)، والمخطط التالي يوضح أهم هذه الآثار (أكسدة الدسم، إماهة واسوداد اللاانزيم، إماهة الإنزيم، التعفن، التخمر والبكتيريا)



الشكل (3.I): مخطط سرعة تغير المادة الحية بدلالة فعالية الماء [Touati, 2008]

من الشكل (3.I) يتبين لنا أن القيمة المثلى لفعالية الماء أو بالأحرى الرطوبة النسبية المناسبة لتخزين المادة الغذائية بدون مضافات أو استعمال غرف التبريد هي محصورة بين 0.25 و 0.35، حيث نلاحظ في هذا المجال انخفاض سرعة أكسدة الدسم وقيمة دنيا لإماهة كل من المركبات الإنزيمية واللاإنزيمية وعدم كل من وجود نمو أو تكاثر كلا من البكتيريا، التعفن والخمائر [Touati, 2008].

إن نقصان النشاط المائي يعيق نمو الكائنات الحية المجهرية و يُبطئ التفاعلات المحفزة، و أخيرا يعيق الاستمرار غير الانزيمي للطعام. و على النقيض من هذا، تزداد التأكسد التلقائي للشحم في أنظمة الغذاء المجفف [كلاوي وآخرون، 2010].

II.14 تأثير المعالجة الأولية على المادة المجففة:

بالإمكان تحفيف المواد الغذائية دون معالجة أولية، إلا أنها تحسن بشكل عام من نوعية الغذاء المعد للتحفيف. و من

الأسباب الرئيسية الداعية لهذا الاجراء قبل التحفيف مايلي: [اشتية و آخرون، 2010]

- الحفاظ على لون و نكهة الغذاء.
- تقليل الفاقد في القيمة الغذائية للغذاء.
- إيقاف تحلل المنتج بفعل الانزيمات.
- ضمان تحفيف أكثر تجانسا.
- إطالة فترة التخزين للمواد المجففة.

من أهم طرق المعالجة الأولية هي: [اشتية و آخرون، 2010]

1. **الغمس في محلول حمضي:** مثل الإسكروبيك (فيتامين C) أو حمض الستريك (حمض الليمون) حيث يمنع هذان الحامضان تحول لون بعض الفواكه مثل: التفاح والمشمش عند تقطيعهما الى اللون البني (الاسمرار). يمكن استعمال عصائر من الحمضيات كالليمون والبرتقال في المعالجة الأولية، لأنها تحتوي على حمض الاسكروبيك و الستريك. و يعد حمض الستريك حمضا ضعيفا مع حمض الاسكروبيك، و بالتالي يكون أقل فاعلية في المعاملة الأولية.
2. **الغمس في العسل:** يمكن لعملية المعالجة بالعسل أن تقلل بشكل فعال تفاعلات الاسمرار (التغير في اللون للدكنة).
3. **تعريض الثمار لبخار الماء:** تساعد هذه الطريقة الثمار على الاحتفاظ بلونها و في إبطاء عملية الأكسدة. و مع ذلك، يحدث تغيير على نكهة الثمار و قوامها.
4. **التبييض (الغلي في الماء):** تعبر الطريقة المثلى لتكسير الانزيمات المسؤولة عن فساد الثمار و تحول لونها الى البني، تغير طعمها إلى المذاق المر أو فقداها لنكهتها. و كذلك تساعد هذه المعالجة الثمار في المحافظة على جزء من محتوى الفيتامينات، يضبط اللون و يسرع عملية التحفيف عن طرق إرخاء الانسجة.
5. **المعالجة بالكبريت:** تتم عملية الكبريتة خارج المباني بتعريض الثمار المعدة للتحفيف لأبخرة الكبريت المحترق، أما في الداخل فتتم بغمر الثمار المراد تحفيفها في هذه المحاليل. أكثر هذه المركبات شيوعا كبريتيت الصوديوم " Na_2SO_3 " (1-2 ملعقة صغيرة/ لتر ماء)، بيكبريتيت الصوديوم " NaHSO_3 " (0.5-1 ملعقة صغيرة/ لتر ماء) و بيروكبريتيت الصوديوم

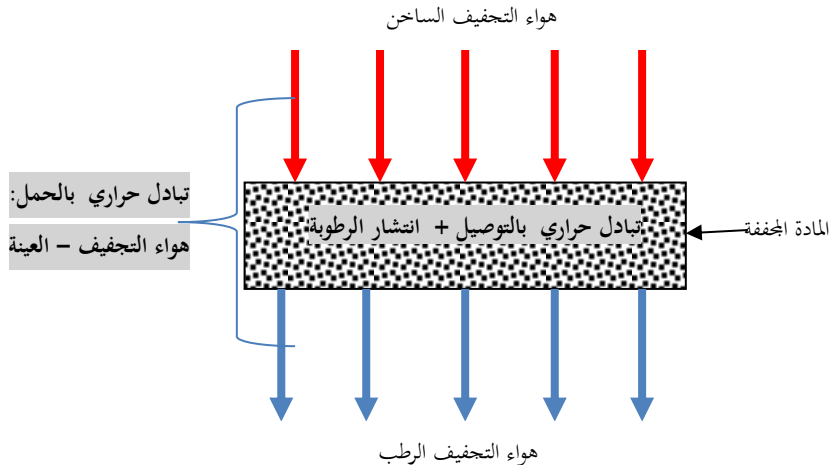
"Na₂S₂O₅" (1-3 ملعقة صغيرة/ لتر ماء). ويؤدي نقع الثمار في هذه المحاليل لمدة 10 دقائق الى منع التغير في اللون، النكهة أو القيمة الغذائية بشكل فعال. في العادة يستغرق تجفيف الثمار المعالجة بمحاليل الكبريت وقتاً أطول من غير المعالجة؛ وذلك لأن الثمار تمتص بعض الماء خلال عمرها في محاليل الكبريت.

المعالجة بحمض الاسكوربيك و محلول التبييض أقل كفاءة من المعالجة بالكبريت، غير أنه يمكن استخدامه من قبل الأشخاص الذين يعانون من الكبريت الذين يمثلون حوالي 5%. و لهذا ينبغي عند معالجة الثمار بالكبريت قبل تجفيفها الإشارة إلى ذلك في الملصق الذي يوضع على المنتج. عموماً تعد عملية الكبريت طريقة معقدة خطيرة و لا ينصح باستخدامها في الوقت الحاضر.

6. **الغمس في محلول ملحي:** مثل كلوريد الكالسيوم 'CaCl₂' الذي له دور كبير في التحكم و الحد من التغيرات التي تحدث خلال تجفيف الغذاء مما يؤدي الى إطالة عمر التخزين. و تتم هذه العملية بغمس الغذاء بأكمله في محلول الكالسيوم بتركيز، درجة حرارة و زمن مدروس [Ahrné et al., 2003].

15.II الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف:

عملية التجفيف ظاهرة فيزيائية جد معقدة بين الانتقال الحراري و الانتقال الكتلي [Gbaha et al., 2007] ، و هما حصيلة مشتركة بين تفاعل المنتج والهواء الذي يحتويه ، بحيث يحصل إنتقال الحرارة بالحمل بين سطح العينة ومحيط تجفيفها بينما يحصل إنتقال الحرارة بالتوصيل وانتقال الرطوبة بالانتشار داخل العينة بدون حدوث تغير بالطور للسائل الرطوبي (التبخر يحصل على السطح فقط) [AL-Hafidh et al., 2009]. و الشكل (4.I) يوضح ذلك.



الشكل (4.I): مختلف ظواهر الانتقال الحراري و الكتلي التي تحدث خلال التجفيف

1.15.II طرق الانتقال الحراري:

تنقل الحرارة عندما يتحقق شرط الفرق في درجة الحرارة بين جسمين، توجد ثلاث طرق يمكن أن تنتقل بها الطاقة الحرارية و

هي: التوصيل، الحمل و الإشعاع.

1.1.15.II التوصيل الحراري:

عندما نسخن المادة الصلبة فان ذراتها تتذبذب بشكل كبير و ترتطم بالذرة التالية ويتواصل التأثير المتبادل بين طبقات

الذرات ، حتى تصل الى الجهة الأخرى وبالتالي تصبح ساخنة كذلك، ونلاحظ هذا الظاهرة داخل المادة المجففة.

التوصيل يمكن أن يحدث بسهولة في المواد الصلبة، ومن ثم في المواد السائلة وبصعوبة يحدث في الغازات ولا يمكن حدوث

التوصيل في الفراغ مثل الفضاء الخارجي .

عند وجود تدرج حراري في جسم معين، فإن الحرارة تنتقل من المنطقة ذات درجة الحرارة العالية إلى المنطقة ذات درجة الحرارة

المنخفضة. وقد وجد فورييه (Fourier) أن كثافة التدفق الحراري بالتوصيل (ϕ) تتناسب مع التدرج الحراري ($\frac{dT}{dx}$):

$$(14-II) \quad \phi = -\lambda \cdot S_e \frac{\partial T}{\partial x} \quad [W]$$

حيث:

▪ S_e : مساحة التبادل الحراري (m^2).

▪ λ : التوصيلة الحرارية ($W/m.K$) وهي متعلقة بطبيعة المادة.

أما علامة السالب (-) لان اتجاه إنتشار التدفق الحراري يتم في اتجاه معاكس للتدرج الحراري، وقيمة التدفق قيمة موجبة أو

على الشكل الشعاعي :

$$(15-II) \quad \phi = -\lambda \overrightarrow{grad}(T) \quad [W]$$

2.1.15.II الحمل الحراري:

الطاقة الحرارية تحمل بعيداً بواسطة جسيمات المائع من خلال تغيير مواقعها كمثال: الهواء المجاور للسطح الساخن

يستقبل الحرارة من الجسم الصلب. جزيئات الهواء المجاورة للسطح الساخن تتحرك بسرعة وبعيداً عن بعضها البعض بسبب زيادة

الطاقة الحركية.

تيار الحمل يمكن أن يحدث في السوائل والغازات فقط ولا يمكن أن يحدث في المواد الجامدة، لأن الجزيئات ليست حرة الحركة، وكذلك لا يحدث في الفراغ بسبب عدم وجود جزيئات .

عندما يكون لدينا جسم صلب مساحته S_e ودرجة حرارته T_p ، على اتصال مع وسط مائع درجة حرارته T_f (مختلفة عن T_p). إذن كمية الحرارة التي اجتازت المساحة S_e تكتب بالعلاقة ، و يعرف هذا القانون بقانون نيوتن.

$$\phi = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad [W] \quad (16-II)$$

$$\phi = h S_e (T_p - T_f) \quad [W] \quad (17-II)$$

حيث: h : معامل الحمل الحراري $(W / m^2.K)$

في الانتقال الحراري بالحمل نستطيع تمييز نوعين:

○ **الحمل الطبيعي** : في هذه الحالة حركة المائع متعلقة بالتغير في كتلته الحجمية مع درجة الحرارة، هذا التغير (الفرق) تخلق قوة جاذبة تساعد في انتقال جزيئات المائع. عندما يسخن الهواء يصبح أقل كثافة مما يؤدي إلى أن الهواء الساخن يرتفع والهواء البارد في الأعلى يهبط (ينزل) ليحل محل الهواء الساخن الذي انتقل إلى أعلى، ومن ثم الهواء البارد يسخن ويرتفع، ويحل محله هواء أكثر برودة . تحدث هذه الظاهرة في المجففات الغير مباشرة التي تعمل على الحمل الطبيعي كما هو مبين اعلاه.

○ **الحمل القسري**: حركة المائع في هذه الحالة مستقلة تماما عن الظاهرة الحرارية، حيث تجرى بطريقة ميكانيكية مثل مضخة أو مروحة كما هو مستعمل في المجففات الغير مباشرة التي تعمل على الحمل القسري المبينة اعلاه. إذن انتقال جزيئات المائع سببها الفرق في الضغط بين الداخل والخارج .

3.1.15.II الإشعاع الحراري:

هذه النوع من الانتقال يحدث في المجففات الشمسية المباشرة، حيث ان سطح المادة المجففة يسخن مباشرة بواسطة الأشعة القادمة من الشمس. حيث وجد العالمان "ستيفان- بولتزمان" أن الطاقة الإشعاعية (M^0) تتناسب تناسباً طردياً مع درجة حرارة السطح المطلقة مرفوعة إلى الأس (4):

$$(18-II) \quad M^0 = e \cdot \sigma \cdot S_e \cdot T^4 \quad [W]$$

حيث σ : ثابت ستيفان- بولتزمان ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

II.15.2 طرق الانتقال الكتلي:

يتم انتقال الكتلة في الأوساط التي يكون فيها فرق في التركيز (كتلي أو مولي) إما بالحمل أو بالانتشار إلى غاية تساوي التركيز.

II.15.2.1 الحمل الكتلي:

في الانتقال الكتلي بالحمل، تنقل الكتلة (أو كمية المادة) مباشرة بالحركة المائع المذاب. والحمل هو شكل من أشكال الانتقال السريع بالمقارنة بالانتشار. وعند ترك المائع المذاب يتحرك لوحده أو بفعل التيار الكتلي الناتج من زيادة ذوبان المادة، نسمي هذا النوع بالحمل الكتلي الطبيعي (الحر)، لكن عند التأثير على المائع بقوة كعملا ميكانيكيا (مروحة) نسمي الحمل بالحمل الكتلي القسري. وبهذه الطريقة تنتقل الرطوبة من سطح المادة المجففة إلى هواء التحفيف فيصبح أكثر رطوبة مما كان عليه من قبل اجتيازه على عينات التحفيف و بالمقابل تصبح العينات أقل رطوبة وهكذا حتى تنتهي عملية التحفيف.

II.2.15.2 الإنتشار الكتلي :

III.15.2.2.A قانون فيك الأول للإنتشار (1^{er} loi de Fick):

معادلة الانتقال الوحيدة البعد لانتقال الكتلة بالإنتشار هي تشابه مباشر للمعادلة انتقال الحرارة بالتوصيل في قانون "فوريه" ، وينص قانون فيك الأول على ما يلي: "التدرج في التركيز (كتلي C أو مولي C_{mol}) مادة ذائبة بين نقطتين من الوسط المذيب يؤدي إلى انتقالها من النقطة الأكثر تركيز إلى النقطة الأقل تركيز (عكس اتجاه تدرج التركيز)". ولنعتبر المسافة الفاصلة بين النقطتين dx ، ومساحة سطح التبادل هي S_e نكتب معادلة القانون على الشكل التالي:

$$(19-II) \quad \dot{m} = \frac{dm}{dt} = -D_c \cdot S_e \cdot \frac{dC}{dx} \quad [Kg/s]$$

بحيث المعامل D_c خاصية تسمى الانتشارية الكتلية الموافقة للتركيز الكتلي C وحدتها $[D_c] = m^2/s$.

B.2.2.15.II قانون فيك الثاني للإنتشار الجزئي : وله ثلاثة أشكال وهي :

(20-II)
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$
 الشكل الأول: (بدلالة التركيز الكتلي)

(21-II)
$$\frac{\partial P}{\partial t} = D_p \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}$$
 الشكل الثاني: (بدلالة الضغط)

(22-II)
$$\frac{\partial C_{mol}}{\partial t} = D_{C(mol)} \cdot \frac{\partial^2 C_{mol}}{\partial x^2}$$
 الشكل الثالث: (بدلالة التركيز المولي)

16.II تقدير معامل الإنتشار خلال عملية التجفيف.

يتم التحكم في انتقال الرطوبة أثناء عملية التجفيف بالإنتشار الداخلي. قانون فيك الثاني للإنتشار يستخدم عادة لوصف عملية التجفيف لمعظم المنتجات البيولوجية [Fahloul et al., 2009]. لحساب ثابت الانتشار الرطوبي نستخدم المعادلة الآتية: [Akpinar et al., 2003 ; Ahrne et al., 2003]

(23-II)
$$XR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} \cdot t}{4L^2} \right]$$

حيث:

n ✓

D_{eff} : معامل الانتشار الرطوبي الفعال (م². ثا⁻¹) ✓

t : زمن التجفيف (ثا⁻¹) ✓

L : سمك العينات (م). علما أن التجفيف يكون على مستوى السطح فقط، يمكن تعويض السمك "L" في

المعادلة السابقة ب "L/2" [Fahloul et al., 2009].

عندما يكون وقت التجفيف كبيراً بما فيه الكفاية ، فإن جميع اجزاء السلسلة لا تكاد تذكر أمام الجزء الأول فنحصل على

[Benhamou et al., 2008]:

(24-II)
$$XR \cong \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-\frac{\pi^2 \cdot D_{eff} \cdot t}{4L^2} \right]$$

نستطيع تبسيط المعادلة السابقة فنحصل على المعادلة التالية [Boudhrioua et al., 2008]:

$$(25-II) \quad \ln(XR) \cong \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 \cdot D_{\text{eff}} \cdot t}{4L^2}$$

يوجد العديد من الأبحاث التي تناولت حساب معامل الانتشار الرطوبي للمادة خلال عملية التجفيف، و تركز على البطاطس كعينة الدراسة و نذكر منها:

دراسة فحلول و آخرون (2009) تأثير كل من درجة الحرارة (55,65 و 75°C) و الضغط (20, 40, 60 cmHg) على معامل الانتشار خلال تجفيف البطاطس نوعية سبونتا (Spunta). حيث وجد الباحثون إرتفاعا قليلا في معامل الانتشار خلال تجفيف البطاطس تحت ضغط 20 cm Hg من $10^{-8} \times 1.44$ م²/ثا عند حرارة 55°C الى $10^{-8} \times 3.15$ م²/ثا عند حرارة 75°C، و عند زيادة ضغط هواء التجفيف الى 40cm Hg فكانت نفس الملاحظة مع قيم مقارنة جدا للقيم السابقة من $10^{-8} \times 1.04$ م²/ثا عند حرارة 55°C الى $10^{-8} \times 3.26$ م²/ثا عند حرارة 75°C، اما عند زيادة ضغط هواء التجفيف الى حدود 60cm Hg فلاحظ انخفاضا محسوسا في معامل الانتشار من $10^{-8} \times 9.48$ م²/ثا عند حرارة 55°C الى $10^{-8} \times 2.81$ م²/ثا عند حرارة 75°C. غير ان تأثير الحرارة كان اكبر من تأثير الضغط خلال تجفيف البطاطس تحت الضغط.

درس Zhu et al. (2014) تأثير درجة الحرارة (من 60 الى 80°C)، سرعة الهواء (من 0.423 إلى 1.120 م/ثا) و سمك العينات (من 0.002 إلى 0.004 م) على معامل الانتشار خلال تجفيف البطاطس الحلوة (*Ipomoea batatas* L.). فقد لاحظ الباحثان ارتفاعا في معامل الانتشار من $10^{-10} \times 2.962$ م²/ثا الى $10^{-10} \times 4.694$ م²/ثا عند زيادة حرارة هواء التجفيف من 60°C إلى 80°C وهذا عند شرائح البطاطس بسمك 0.002 م و سرعة الهواء تقدر ب 0.946 م/ثا . و تقريبا نفس القيم لمعامل الانتشار عند زيادة هواء من 0.423 إلى 1.120 م/ثا حيث ارتفعت من $10^{-10} \times 3.022$ م²/ثا الى $10^{-10} \times 4.108$ م²/ثا وهذا عند التجفيف بدرجة 80°C و سمك شرائح 0.002 م. أما عند زيادة سمك شرائح العينات المجففة من 0.002 إلى 0.004 م فلاحظا ارتفاعا كبيرا لمعامل الانتشار بالمقارنة بتأثير كلا من حرارة و سرعة هواء التجفيف فكان التغير من $10^{-10} \times 3.887$ م²/ثا الى $10^{-10} \times 12.247$ م²/ثا.

درس. Azizi et al. (2010) أثير درجة الحرارة (من 50 و80°C) و سمك عينات التجفيف (من 0.5 إلى 1.5 سم) على معامل الانتشار خلال تجفيف البطاطس. حيث وجدا ارتفاعا في معامل الانتشار من 5.41×10^{-10} م²/ثا إلى 1.06×10^{-9} م²/ثا و هذا عند زيادة حرارة التجفيف من 50°C إلى 80°C و باستعمال عينات ذات سمك 0.5 سم، أما عند تثبيت درجة الحرارة عند 80°C و زيادة سمك شرائح العينات من 0.5 إلى 1.5 سم فلاحظا الباحثان ارتفاعا أكبر من القيم السابقة بالنسبة لتأثير درجة الحرارة حيث تغيرت من 1.06×10^{-9} م²/ثا إلى 3.07×10^{-9} م²/ثا

درس. Bakal et al. (2010) تأثير شكل الشرائح المراد تجفيفها (مكعبة و اسطوانية) على قيم معامل الانتشار خلال تجفيف البطاطس عند درجات الحرارة (50،60 و70°C) و سرعة هواء ثابتة 7م/ثا. حيث اختبر هذا الفريق من الباحثين الطول بالنسبة لمساحة العينات المكعبة (5مم x 5مم) و اما بالنسبة للعينات الاسطوانية فاختر الطول بالنسبة للقطر (5مم). من هذه الدراسة لاحظ Sushant B. Bakal و فريقه إرتفاعا في معامل الانتشار خلال تجفيف البطاطس من 2.277×10^{-9} م²/ثا إلى 1.824×10^{-8} م²/ثا و ذلك عند زيادة طول العينة المكعبة من 5 إلى 15مم و باستعمال حرارة تجفيف تقدر ب 50 °C، و عند زيادة حرارة هواء التجفيف إلى 70°C فكانت نفس الملاحظة مع ارتفاع طفيف مقارنة بالقيم السابقة حيث زادت قيمة معامل الانتشار الرطوبي من 3.165×10^{-9} م²/ثا إلى 3.314×10^{-8} م²/ثا. كما تحصلوا على نفس النتائج عند استعمال عينات اسطوانية حيث إرتفاع معامل الانتشار من 2.277×10^{-9} م²/ثا إلى 1.88×10^{-8} م²/ثا و ذلك عند زيادة طول العينة المكعبة من 5 إلى 15مم و باستعمال حرارة تجفيف تقدر ب 50 °C، و عند زيادة حرارة هواء التجفيف إلى 70°C فكانت نفس الملاحظة مع ارتفاع طفيف مقارنة بالقيم السابقة حيث زادت قيمة معامل الانتشار الرطوبي من 3.418×10^{-9} م²/ثا إلى 2.507×10^{-8} م²/ثا.

الفصل الثالث

المجففات الشمسية و طرق

تحسين مردودها الطاقوي

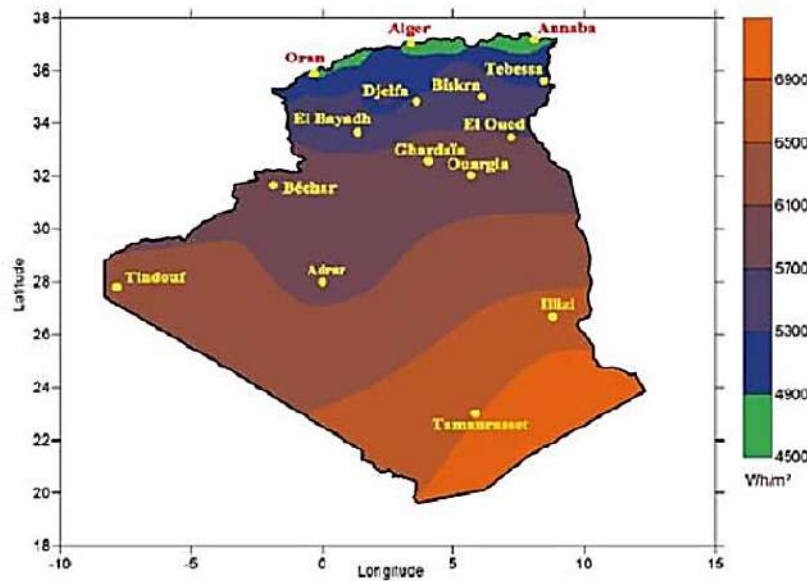
III. المجففات الشمسية و طرق تحسين مردودها الطاقوي

1.III تمهيد:

من أهم التحديات في بداية القرن الحادي والعشرين هي الأمن الطاقوي [Genwa et al., 2013] ، فمن المتوقع ان يزيد الطلب العالمي للطاقة بنسبة 40% في آفاق سنة 2040 [Boughali et al., 2017]. فيما يستهلك تحفييف المنتجات الغذائية بالطرق الصناعية طاقة كبيرة لذلك بدأ التفكير في مصادر طااقوية أخرى والتي يمكن استغلالها بدرجة كبيرة كالتاقة الشمسية [Chouicha et al., 2014] . تعتبر الطاقة الشمسية أهم مصدر بديل من مصادر الطاقة المتجددة[Mihaela et al., 2012 ; Mennouche et al., 2014] . حيث تبعث الشمس طاقة بمعدل 3.8×1023 كيلواط ، و لكن اغلبها يتم اعتراضها و تصل الى الارض سوى 1.8×1014 كيلو واط [Tyagia et al. , 2012] . فيما تبلغ الطاقة الشمسية الواردة الى سطح الأرض حوالي عشرة آلاف مرة بالنسبة للطلب العالمي على الطاقة [Ibrahim et al., 2011].

2.III الطاقة الشمسية في الجزائر:

تقع الجزائر في منطقة استراتيجية، حيث يتراوح الإشعاع الشمسي السنوي من 4.5 الى 7.3 كيلو واط ساعي لكل متر مربع من المساحة، كما هو مبين في الشكل (1.III).



الشكل (1.III): المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي على المستوى الوطني [Ghodbane et al., 2016]

يقدر متوسط تعرض الجزائر سنويا للإشعاع الشمسي بحوالي 2000 ساعة بينما تبلغ 3900 ساعة في المناطق الصحراوية لهذا تشكل حاجة ضرورية و ملحة لاستخدامها في عملية التجفيف للمنتجات الزراعية وزيادة الكميات المجففة و الحد من التلف.

III.3 التجفيف باستعمال المجففات الشمسية:

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ الاستفادة من الطاقة الشمسية و الحركة الطبيعية للهواء الجوي، في التخلص من الرطوبة في الغذاء [اشتية و آخرون، 2010]. توجد أنواع مختلفة من المجففات الشمسية، مثل: التي تعمل بالحمل الطبيعي أو القسري، وقد تكون مباشرة إذ يتعرض الغذاء فيها إلى الإشعاع الشمسي ، أو غير مباشرة وفيها لا يتعرض الغذاء إلى الإشعاع الشمسي، أو تكون مختلطة إذ يتم الجمع بين النوعين المباشر وغير المباشر، وقد تكون هجينة أي مزودة بمصدر طاقي آخر [الحلفي، 2007].

III.4 أنواع المجففات الشمسية:

يمكن تصنيف المجففات الشمسية بحسب كيفية استعمال الطاقة الشمسية أو حسب طريقة تسخين الهواء.

III.4.1 أنواع المجففات حسب كيفية استعمال الطاقة الشمسية:

تصنف المجففات الشمسية حسب مبدأ عملها إلى الفئات الآتية: [Dadda et al., 2008]

➤ مجففات شمسية مباشرة.

➤ مجففات شمسية غير مباشرة.

➤ مجففات شمسية مختلطة.

➤ مجففات شمسية هجينة.

III.1.4.1 مجففات شمسية مباشرة :

بتكون المجفف الشمسي المباشر من جزء واحد فقط يلعب دور لاقط الأشعة الشمسية وفي نفس الوقت غرفة تجفيف. المجفف مغطى من الأعلى بطبقة من الزجاج تحمي المنتج من تقلبات الظروف المناخية و تسمح بمرور الأشعة الشمسية و من الأسفل بصفيحة معدنية مطلية بالأسود. عند سقوط الأشعة الشمسية على الصفيحة الماصة و المنتج يؤدي إلى تسخين المنتج فيتبخر الماء داخل المنتج، و كذلك الهواء الداخل للمجفف يسخن بواسطة الحمل(راجع

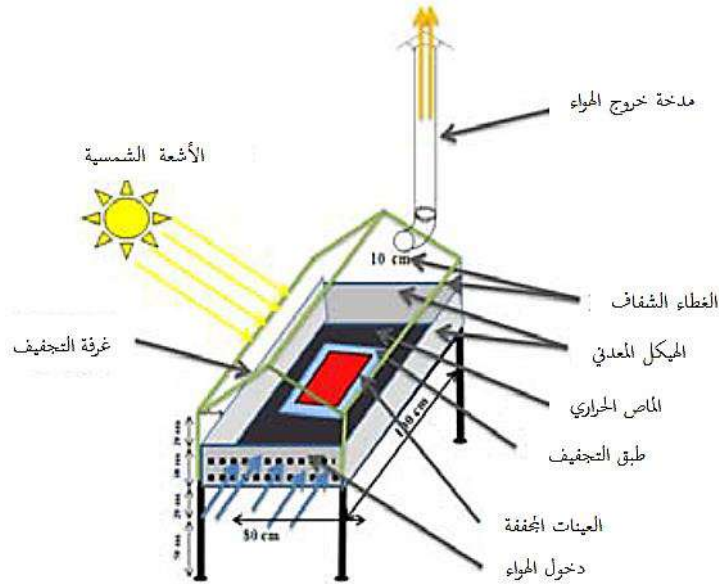
انتقال الحرارة بالحمل في الفصل الثاني) عند اجتيازه فوق الصفيحة الماصة و يسرع امتصاص رطوبة المنتج مما يساهم في تسريع عملية التجفيف مقارنة بالتجفيف التقليدي الذي له العديد من السلبيات نذكر منها: [الحلبي، 2010؛ مجيد و آخرون، 2007].

تتعرض المادة الغذائية الى التغيرات في الظروف الجوية المختلفة و التلوث بالأحياء المجهرية الدقيقة و الغبار و الحشرات مما يؤدي إلى خفض قيمتها الغذائية.

تحتاج عملية التجفيف التقليدية الى مساحة كبيرة مقارنة بالطرق الصناعية.

تعد الطريقة التقليدية بطيئة حيث انها تحتاج إلى زمن طويل نسبيا للتجفيف.

سقوط الأمطار يسبب اعادة ترطيب المنتجات المجففة وتحتاج بعد ذلك الى اعادة تجفيفها.



الشكل (2.III): مخطط للمجفف الشمسي المباشر المتواجد على مستوى مخبر الطاقات مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في

المناطق الجافة و الصحراوية (L.E.N.R.E.Z.A) [Menouche et al., 2015; 2017].

إن التجفيف بالطاقة الشمسية يعطي منتوجا متجانسا و غير منكمش و ذا قيمة غذائية أفضل مقارنة مع

المجففات الكهربائية و التجفيف الشمسي التقليدي [الحلبي، 2010]. ولكن للمجففات الشمسية المباشرة

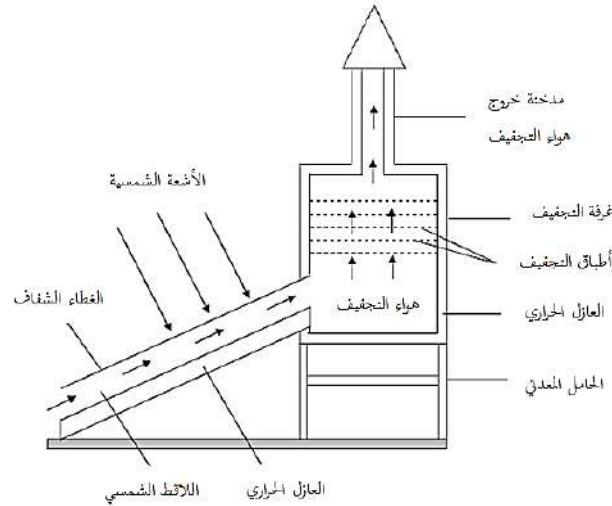
سلبيات تضر بنوعية المنتج و سلبيات أخرى نذكر منها: [اشتية و آخرون، 2010]

❖ إعتقاد هذه الطريقة على حالة الجو مباشرة فقد يكون الجو مشمسا في أحد الأيام و غائم في اليوم التالي.

- ❖ طول عملية التجفيف لعدة أيام مقارنة بالتجفيف الصناعي حوالي ساعات فقط، مما يؤدي لفساد الغذاء بسبب احتوائه على رطوبة كافية لنمو الكائنات الدقيقة.
- ❖ ينصح بإدخال الغذاء داخل المباني خاصة في الليالي الرطبة لإتمام التجفيف في اليوم التالي و لكي لا تزيد من رطوبة الغذاء.
- ❖ احتراق الغذاء و تحرب بعض الفيتامينات خاصة A و C وتغير في اللون الأصلي.

III.2.1.4. مجففات شمسية غير مباشرة:

في هذا النوع من المجففات تكون اللواقط الشمسية منفصلة عن غرفة التجفيف، و تقوم هذه اللواقط بتسخين الهواء بشكل مستقل من ثم يتم إرساله إلى غرفة التجفيف. و أثبتت دراسة Salman et al. (2011) ان المجفف المزود لاقط شمسي يعطي أداء أفضل مقارنة مع المجفف المباشر من حيث أنه أكثر حرارة هواء و أقل زمن تجفيف.



الشكل (III.3): مخطط للمجفف الشمسي الغير مباشر المتواجد على مستوى مخبر الطاقات مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة

في المناطق الجافة و الصحراوية (L.E.N.R.E.Z.A) [Menouche et al., 2007]

للمجففات الشمسية الغير مباشرة مزايا مقارنة بالمجففات الشمسية المباشرة منها: [Dadda et al., 2008]

اشتية و آخرون، 2010]

❖ المنتج غير معرض مباشرة لأشعة الشمس مما يحافظ على اللون والقيمة الغذائية(خاصة الفيتامينات A و C).

❖ إمكانية تركيب هذا النوع من المجففات محليا بالإضافة لتكلفة المنخفضة.

❖ تسييره لا يتطلب لطاقة كهربائية أو أحفوريه.

❖ الحد من فرص تمكن الكائنات الدقيقة من إتلاف المادة الغذائية وذلك لقصر زمن التحفيف مقارنة بالنوع المباشر.

III.1.4.3 مجففات شمسية متعددة الأنظمة (مختلط):

هذا النوع يجمع مزايا المجففات المباشرة وغير المباشر في نفس الوقت، فالهواء يسخن بواسطة اللاقط الشمسي وعندما يدخل غرفة التحفيف تزداد حرارته بواسطة الحمل مع الصفيحة الماصة، وكذلك يكون المنتج ساخنا بواسطة الاشعاع الشمسي. فهو من ناحية الحرارة يمكن أن يزيد في درجة الهواء بالمقارنة بالنوعين السابقين (المباشر وغير مباشر) ولكنه من ناحية نوعية المنتج له نفس السليبيات كالمجفف المباشر لتعرض المنتج للإشعاعات الشمسية المباشرة التي تؤثر على القيمة الغذائية و اللون.

تبقى عملية التحفيف في الأنواع السابقة دوما معتمدة على حالة الجو، و لذا بدأ الباحثون في التفكير في تقنيات و أساليب من أجل التحرر من تبعية التحفيف الشمسي للظروف المناخية المتغيرة لذلك اخترع مجفف جديد يعتمد على مصدرين في تسخين هواء التحفيف و يسمى هذا النوع مجفف شمسي هجين.

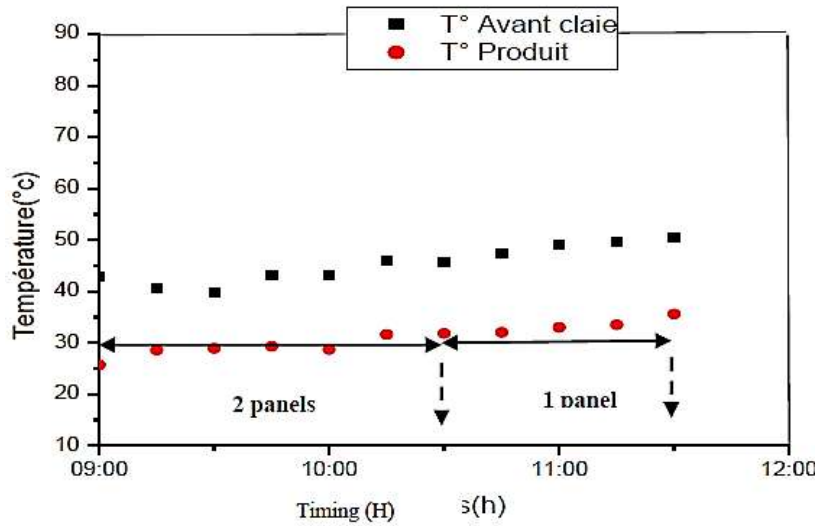
III.1.4.4 مجففات شمسية هجينة :

في هذا النوع من المجففات يتدخل مصدر طاقتوي ثانوي اما لإكمال الفارق في درجة الحرارة المطلوبة لعملية التحفيف و إما لاستمرار عملية التحفيف خلال الايام المغميمة أو خلال ساعات الليل. و من أجل هذا تمت عدة تجارب على مستوى مخبر الطاقات مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في المناطق الجافة و الصحراوية (L.E.N.R.E.Z.A) لجامعة قاصدي مرياح ورقلة، نذكر :

III.1.4.4.A استعمال الخلايا الكهروضوئية:

قامت شويشة و آخرون (2013) باستبدال الطاقة الكهربائية التقليدية المستعملة لتشغيل المقاومة الكهربائية الشكل (1.IV) وذلك لضبط حرارة هواء بالتحفيف بالطاقة الكهربائية المنتجة من خلايا الالواح الكهروضوئية(Panneaux Photovoltaïque)، حيث إستعمل الفريق لوحين شمسيين في أول عملية تحفيف

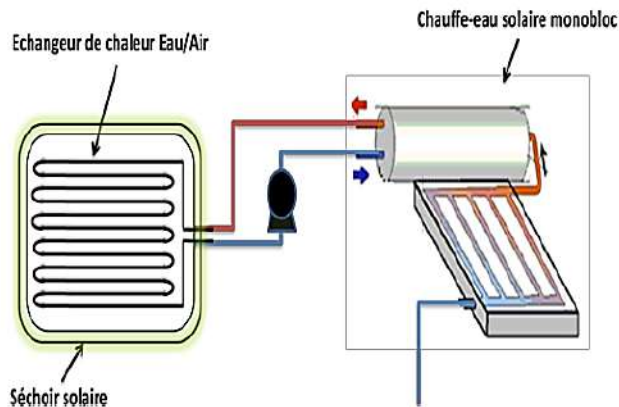
البطاطس عندها لم تكن أشعة الشمس كافية لتسخين الهواء لبلوغ قيمة الحرارة المطلوبة للتجفيف. و عند زيادة أشعة الشمس إقتصر الفريق على لوح واحد فقط. و النتائج المتحصل عليها موضحة في الشكل (4.III).



الشكل (4.III): تأثير الألواح الكهروضوئية لضبط حرارة هواء المجفف الغير مباشر [Chouicha et al., 2013]

B.4.1.4.III استعمال سخان الماء الشمسي:

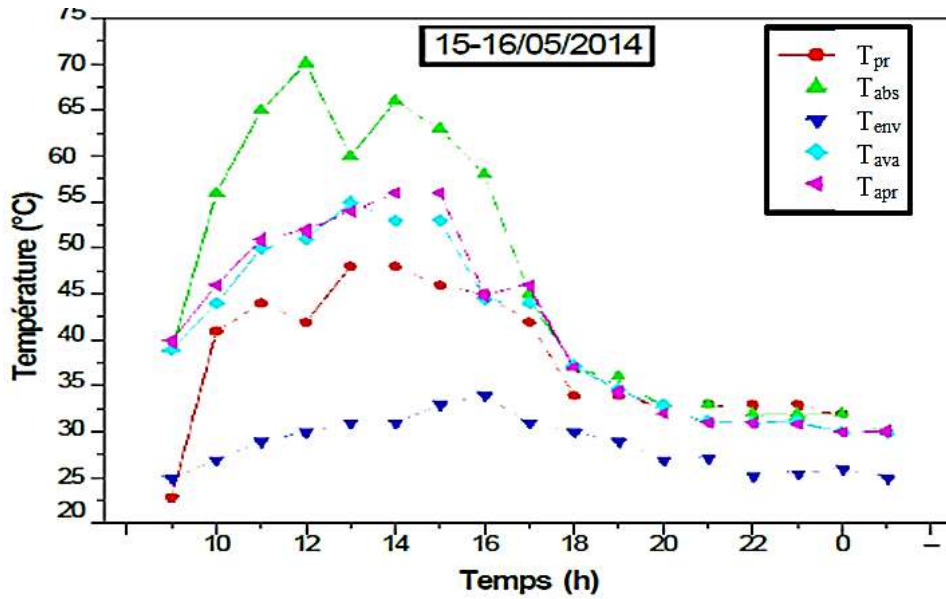
سخن منوش و آخرون (2017) الماء بالطاقة الشمسية و خزونه خلال ساعات النهار في الخزان، و بعد الغروب و ذهاب اشعة الشمس بدأ خروج الماء الساخن من الخزان الى المبادل الحراري الموضوع في المجفف الشمسي المباشر (الشكل 2.III) كما هو موضح في الشكل (5.III).



الشكل (5.III): مخطط المجفف الهجين (مجفف + سخان ماء شمسي) [Mennouche et al., 2017]

خلال ساعات الليل تنتقل الحرارة من الماء الساخن الى هواء غرفة التجفيف مما يؤدي الى الرفع من حرارتها

مقارنة بدرجة بهواء الجو خارج المحفف، وبالتالي ترتفع حرارة المنتج كما هو مبين في الشكل (6.III).

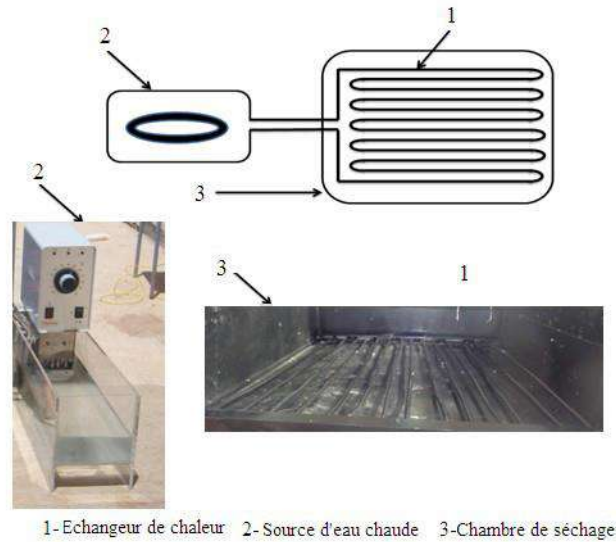


الشكل (6.III): تغيرات درجات الحرارة خلال ساعات النهار و الليل داخل المحفف المزود بسخان الماء الشمسي [Mennouche et al., 2017]

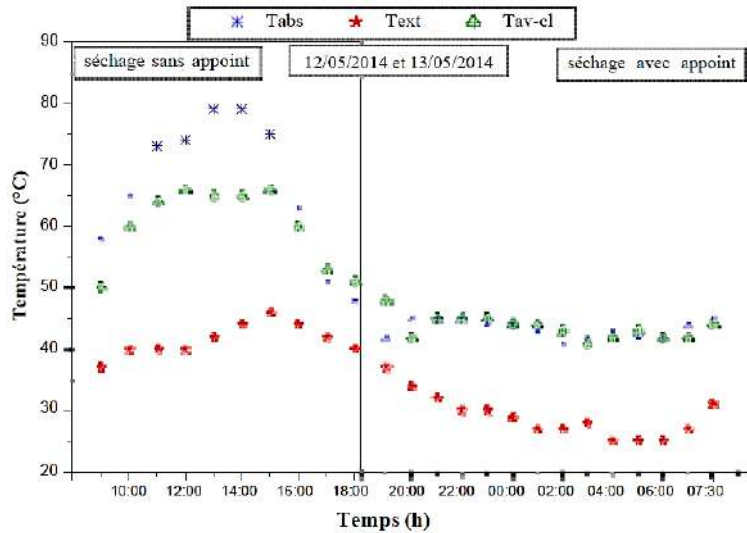
سمحت هذه التقنية بتجنب عملية التخزين الذي يزيد من إحتمال تطيب المادة المحففة و بالتالي يزيد من المحتوى الرطوبي خاصة أثناء الليالي الرطبة. غير أن هذه الحرارة المستفاد من المبادل الحراري ضعيفة مقارنة بالحرارة المطلوبة لعملية التجفيف. و بالإضافة لفقد الماء لحرارته بمرور ساعات الليل، و لهذا بدأ في التفكير بطريقة أخرى تكون فيها حرارة الماء ثابتة و مستقرة و لا تتأثر بزمن التجفيف.

III.4.1.4.C الاستفادة من المياه الجوفية الساخنة:

تتوفر منطقة ورقلة على مياه ساخنة تبلغ حرارتها 60 درجة و هي كافية لعملية تجفيف العديد من الاغذية. حيث حاول منوش و آخرون(2015) محاكاة المياه الجوفية الساخنة و ذلك بتسخين الماء إلى 60 درجة و إرسالها في المبادل الحراري المثبت داخل المحفف المباشر (الشكل 2.III) كما هو مبين في الشكل (7.III).



الشكل (7.III): مخطط المجفف الهجين (مجفف + محاكي المياه الجوفية الساخنة) [Mennouche et al., 2015]



الشكل (8.III): تغيرات درجات الحرارة خلال ساعات النهار و الليل للمجفف المدعم بالمياه الجوفية الساخنة [Mennouche et al., 2015]

بالإعتماد على تقنية محاكات المياه الجوفية الساخنة تم رفع درجة حرارة الهواء داخل المجفف الشمسي الى

حدود 45 درجة فيما كانت درجة الهواء الخارجي تتراوح حدود 25 درجة إلى 30 درجة.

2.4.III أنواع المجففات حسب حركة الهواء:

بحسب طريقة حركة الهواء داخل المجفف يمكن تصنيف مختلف المجففات الشمسية الى قسمين:

III.1.2.4. مجففات تعمل على الحمل الطبيعي:

تعتمد حركة هواء داخل المجفف على الحمل الطبيعي أي يسخن الهواء فتتخفف كثافته فيتحرك نحو الأعلى مجففا المنتجات المراد تجفيفها داخل المجفف الشمسي، وعندما يمتص الرطوبة و يبرد يتم طرحه الى الوسط الخارجي.

III.2.2.4. مجففات تعتمد حركة الهواء على الحمل القسري:

يتم سحب هواء التجفيف بواسطة منظومة مراوح يتم اختيارها بحسب كمية الهواء اللازمة لإتمام عملية التجفيف و سرعته المطلوبة، و هذا النوع من المجففات يسمح بالتحكم بعملية التجفيف و بالتالي مواصفات المنتجات المجففة النهائية.

III.5. تعريف اللاقط الشمسي المسطح:

تم اكتشاف لواقط الطاقة الشمسية المسطحة في الخمسينيات (1950) من قبل العالمين Hottel و Whillier [Milostean et al., 2017]. اللاقط الشمسي المسطح هي وحدة يتم بواسطتها إستقبال الإشعاع الشمسي الساقط على سطحها وتحويله إلى طاقة حرارية. يمكن استخدام هذه الطاقة الحرارية في تجفيف المحاصيل [Boughali et al., 2009] ، أو العديد من التطبيقات الأخرى مثل: توفير المياه الساخنة للسكان، أو الاستخدام التجاري ، كمدافئ مساعدة في المباني لتوفير الطاقة خلال أوقات الشتاء ، أو التبريد كبدل عن استخدام الوقود الأحفوري [Mahmood et al., 2015].

III.6. تركيب اللاقط الشمسي المسطح:

يتكون اللاقط الشمسي المسطح من الأجزاء الأساسية الآتية:

III.6.1. غطاء شفاف منفذ:

عند سقوط الأشعة الشمسية " ϕ_{inc} " (راجع طرق الانتقال الحراري بالإشعاع في الفصل الأول) على سطح الغطاء الشفاف، فإنها تنقسم الى ثلاث أجزاء وهي :

✓ جزء يمر عبر الغطاء الشفاف " ϕ_{tra} "، يعبر عنه بمعامل السماحية: هو نسبة ما يسمح بمروره الجسم من

إشعاع إلى كمية الإشعاع الواصلة إليه : وهي كالتالي:

$$(1.III) \quad \tau = \frac{\phi_{tra}}{\phi_{inc}} \quad [-]$$

✓ جزء يمتص من طرف الغطاء الشفاف " ϕ_{abs} " ، يعبر عنه بمعامل الامتصاص: هو نسبة ما يمتصه الجسم

من إشعاع إلى كمية الإشعاع الواصلة إليه : وهو كالتالي:

$$(2.III) \quad a = \frac{\phi_{abs}}{\phi_{inc}} \quad [-]$$

✓ جزء ينعكسه الغطاء الشفاف " ϕ_{ref} " ، يعبر عنه بمعامل الانعكاس: هو نسبة ما يعكسه الجسم من

إشعاع إلى كمية الإشعاع الواصلة إليه : وهو كالتالي:

$$(3.III) \quad ref = \frac{\phi_{ref}}{\phi_{ref}} \quad [-]$$

العلاقة بين هذه المعاملات:

$$(4.III) \quad \phi_{inc} = \phi_{tra} + \phi_{abs} + \phi_{ref} \quad [W]$$

ومنه ينتج أن :

$$(5.III) \quad \tau + a + ref = 1 \quad [-]$$

يجب صنع الغطاء الشفاف مواد ذات السماحية العالية (τ) نذكر منها : الزجاج البلوري (0.91) ، زجاج النافذة (0.85) ، بولي فينيل الفلوريد (0.93) ، الإيثيلين البروبيلين المفلور (0.96). أيضا يجب أن يكون الغطاء الشفاف منخفضة الانعكاسات (ref) من أجل الحد من فقدان الحرارة من الجهة الأمامية [Milostean et al., 2017]. كذلك يعمل الغطاء الشفاف كمصيدة حرارية للأشعة تحت الحمراء (الحرارية). فهو يقلل من خسائر الإشعاع والحمل الحراري إلى الغلاف الجوي. جنبا إلى جنب مع الإطار [Alghoul et al., 2005]

III 2.6 الماص الحراري:

ينبغي تصنيع الماص الحراري من مادة موصلة جيدة للحرارة(راجع طرق الانتقال الحراري بالتوصيل في الفصل

الأول)، فمنذ سنوات قليلة كان الماص الحراري يصنع من النحاس لأنه أحسن ناقل حراري ($\lambda = 401 \text{ W/m C}$)

غير أن غلاء النحاس زاد من تكاليف تصميم اللواقط الشمسية. و من أجل تخفيض التكلفة أُستبدل بمادة الألمنيوم $(\lambda = 250 \text{ W/m C})$ [Alghoul et al., 2005].

في الماص الحراري تكون السماحية معدومة ($\tau = 0$) وتصبح المعادلة (5.III) على الشكل التالي:

$$(6.III) \quad a + ref = 1 \quad [-]$$

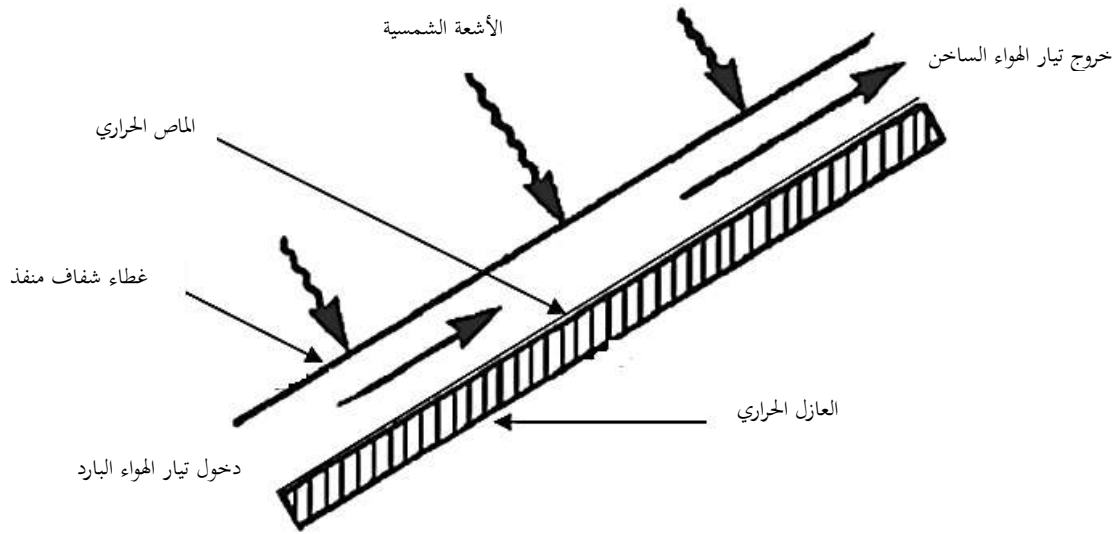
و لزيادة معامل امتصاصية (a) الصفيحة تطلّى بالأسود غير اللامع (noire mate) حيث يصل

معامل الامتصاصية إلى 95 % [Zaid et al., 2001].

3.6.III العازل الحراري:

للحد من الضياع الطاقوي لللاقط تتم إحاطة جوانب وأسفل الماص الحراري بمواد خاصة ذات توصيلية حرارية

متدنية، مثل: الصوف الزجاجي، الألياف الزجاجية والبولي ستيرين.



الشكل (9.III): رسم تخطيطي يُوضح أجزاء اللاقط الشمسي المسطح

7.III المردود الطاقوي لللاقط الشمسي:

الطاقة الناتجة هي التدفق الحراري التي يكتسبها الهواء (ϕ_u) من اللاقط الشمسي وتكتب بالعلاقة (7.III).

[Bakari et al., 2014]

$$(7.III) \quad \phi_u = m \cdot C_p (T_{s;cap} - T_{e;cap}) \quad [W]$$

حيث:

▪ m : التدفق الكتلي للهواء. (Kg/s)▪ C_p : الحرارة النوعية للهواء. (J/Kg. K)▪ $T_{s; cap}$: درجة خروج الهواء من اللاقط. (K)▪ $T_{e; cap}$: درجة دخول الهواء الى اللاقط. (K)

يعرف المردود الطاقوي لللاقط بنسبة الطاقة الناتجة (المستفاد) على الإشعاع الكلي الساقط على مساحة الماص الحراري. وتعطى علاقته (8.III):

$$\eta = \frac{m.C_p(T_{scap} - T_{ecap})}{I_g \cdot S_{abs}} \quad [W] \quad (8.III)$$

حيث:

• I_g : شدة الإشعاع الشمسي الكلي اللحظي. (W/m^2)• S_{abs} : مساحة الصفيحة الماصة. (m^2)

8.III العوامل المؤثرة على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي:

يوجد العديد من العوامل المؤثرة على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي، منها: طول و عرض اللاقط، نوع

الماص الحراري، سمك الغطاء الزجاجي، زاوية ميل اللاقط، سرعة الرياح، نوع العازل الحراري... الخ [Bakari et

.al., 2014 ;Omojaro et al., 2010]

8.III.1 تأثير زاوية ميل اللاقط على المردود الطاقوي:

من أجل الحصول على أعلى مردود طاقوي ينبغي تغيير زاوية ميل اللاقط حسب زاوية ميل أشعة الشمس

شهريا كما أثبت ذلك الوازن و آخرون(2013) إنَّ الزاوية المثلى لميلان اللواقط الشمسية لمدينة ورقلة تتغير من 8-

درجة بالنسبة للأفق بحلال شهر جوان و تصل الى 61 درجة بالنسبة للأفق كما هو موضح في الجدول (1.III).

الجدول (1.III): الزاوية المثلى لميلان اللواقط الشمسية خلال أشهر السنة في مدينة ورقلة [Louazene et al., 2013].

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الزاوية المثلى بالدرجة	60	51	35	17	1-	8-	5-	10	28	46	58	61

و يمكن تثبيت زاوية ميل اللاقط حسب كل فصل ففي فصل الشتاء (ديسمبر، جانفي و فيفيري) تكون حركة الشمس في أخفض مستوى لها، و لذلك تكون زاوية ميلان اللاقط بالنسبة للأفق كبيرة و تبلغ الى 57 درجة و في الربيع (مارس، أفريل و ماي) تبدأ الشمس في الارتفاع أثناء حركتها عن فترة الشتاء مما يعنى الحاجة إلى خفض زاوية الميل إلى 17 درجة لإستقبال أفضل الأشعة. أما في الصيف (جوان، جويلية و أوت) فتستمر الشمس في الإرتفاع و تخفض زاوية الميل الى زاوية واحدة بالنسبة للأفق. و في الخريف (سبتمبر، أكتوبر و نوفمبر) ترجع الشمس للانخفاض أثناء حركتها مما يتوجب علينا رفع زاوية ميل اللاقط 45 فوق مستوى الافق، كما هو موضح الجدول (2.III).

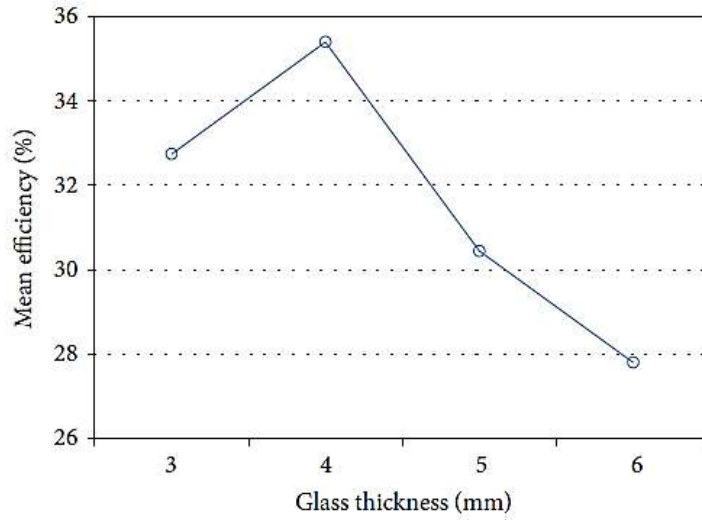
الجدول (2.III): الزاوية المثلى لميلان اللواقط الشمسية خلال فصول السنة في مدينة ورقلة [Louazene et al., 2013].

الفصل	الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف
الزاوية المثلى بالدرجة	57	17	1-	45

من أجل التحكم في زاوية الزاوية المثلى لميل اللواقط يتوجب علينا نظام تحكم وتوجيه يحرك اللاقط الشمسي طوال العام طبقاً لحركة الشمس، و هذا يسبب زيادة كبيرة جداً في التكلفة المخففات الشمسية ، بالإضافة إلى احتياج نظام التحكم لطاقة لتشغيله يمكن توجيه اللاقط الشمسي بزاوية العرض و التي تقدر ب 31 درجة بمدينة ورقلة.

2.8.III تأثير سمك الزجاج على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي:

الزجاج هو أكثر المواد استعمالاً في تغطية اللواقط الشمسية مقارنة بالمواد البلاستيكية التي لا تتحمل الحرارة العالية، و كذلك لسمك الزجاج تأثير على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي كما اثبتته Bakari et al., 2014، أن إستعمال سمك 4 مم كان أحسن مردود طاقوي من 3مم، غير أن هذا التأثير يكون عكسيا عند زيادة سمك الزجاج الى 5 و 6 مم كما هو مبين في الشكل (10.III).



الشكل (10.III): تأثير سمك الزجاج على المردود الطاقوي للاقط الشمسي [Bakari et al., 2014].

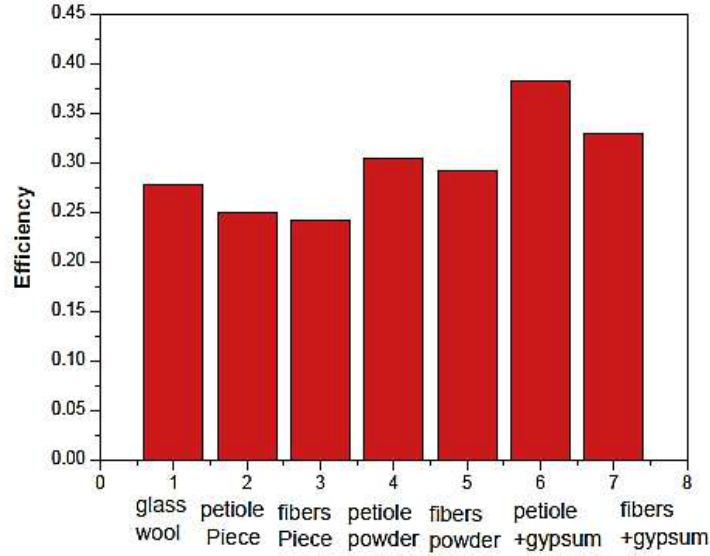
3.8.III تأثير نوع العازل الحراري على المردود الطاقوي للاقط الشمسي:

عادة ما يتم عزل اللواقط الشمسية بمادة الصوف الزجاجي [Milostean et al., 2017] غير أن هذه المادة مصنعة و مكلفة بالإضافة أنها مضرّة للبيئة، و لهذا بدأ التفكير في استعمال مواد طبيعية محلية و إقتصادية، مثل: ألياف و خشب (كرناف) النخيل المتوفر بكثرة في الجنوب الجزائري، و كذلك مادة الجبس التي تستخدم منذ القدم في البناء بمنطقة سوف. حيث قامت نذير و آخرون (2019) باختبار سبعة لواقط شمسية على مستوى مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في المناطق الحافة و الصحراوية (L.E.N.R.E.Z.A) لجامعة قاصدي مرباح ورقلة، في النموذج الأول (a) استعملت خشب النخيل و الثاني (b) ألياف النخيل على شكل قطع أما في الثالث (c) و الرابع (d) فكان خشب و ألياف النخيل على شكل مسحوق، و في الخامس (e) و السادس (f) تم إضافة مادة الجبس لكل من خشب و ألياف النخيل. و بالنسبة للأخير فاستعمل الصوف الزجاجي كنموذج شاهد. و الشكل (11.III) يوضح ذلك.



الشكل (11.111): صور النماذج التجريبية لعزل اللاقط الشمسي باستعمال الياف وخشب النخيل [Nadir et al., 2019].

بالإعتماد على النتائج التجريبية استنتج الباحثون ان استعمال خشب (كرناف) و ألياف النخيل على شكل مسحوق أحسن من القطع، و عند إضافة مادة الجبس الى خشب و ألياف النخيل يزداد أكثر مع الحالة الأولى، غير أنّ استعمال الخشب أحسن عزلا من الألياف كما هو مبين في الشكل (12.111).



الشكل (12.III): المردود الطاقوي للاواقط الشمسية باختلاف العوازل الحرارية [Nadir et al. , 2019].

4.8.III تأثير سرعة الهواء الخارجي المردود الطاقوي للاقط الشمسي:

حركة الهواء الخارجي تأثير على التدفق الحراري بالحمل المتبادل بين الجهة الخارجية للغطاء الزجاجي والهواء

المحيط، وتعتبر هذه الكمية من الحرارة ضائعة بالنسبة للاقط و تكتب عبارة التدفق كما يلي:

$$(9.III) \quad \phi_{cv,v-ext} = h_{cv,v-ext} \cdot S_v (T_{v-ext} - T_{ext}) \quad [W]$$

يعرف معامل الحمل الحراري بين الزجاج و الهواء المحيط بعلاقة (hottel et Woertz) : [Bakari et al.,

2014; Yousef, 2008]

$$(10.III) \quad h_{cv,v-ext} = 5.7 + 3.8V_{vt} \quad [W/m^2 \cdot K]$$

حيث :

- V_{vt} : سرعة الرياح. (m/s)
- T_{v-ext} : درجة حرارة الزجاج من الجهة الخارجية. (K).
- T_{ext} : درجة حرارة الهواء الخارجي (المحيط). (K).

كلما زادت سرعة الهواء الخارجي زادت قيمة معامل الحمل الحراري بين الزجاج و الهواء المحيط و بالتالي تزيد كمية الفقد الحراري من الجهة الأمامية من اللاقط الشمسي مما يؤثر سلبا على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي، إذ يستحسن التخفيف خلال الأيام التي تكون حركة الهواء فيها منخفضة نوعا ما.

III.5.8 تأثير شكل الماص الحراري على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي:

شكل الماص الحراري هو أهم عامل في تصميم أي نموذج لتسخين الهواء ، هذا العامل هو المسؤول في زيادة التبادل الحراري بين الهواء المار داخل اللاقط و سطح الماص الحراري. [El-Sebail et al., 2007].

III.5.8.1 زيادة عوائق معدنية على مستوى الصفيحة الماصة:

نظرا لعدم كفاية التبادل الحراري بين هواء التخفيف و سطح الماص الحراري لللاقط الشمسي قام العديد من الباحثين بإجراء تحسينات لزيادة الفرق بين الحرارة الخارجة و الداخلة منه، نذكر منها: زيادة عوائق معدنية عرضية في مجرى الهواء [العالي، 2011]، قطع معدنية على شكل زعانف و قطع انبوبية [Abene et al., 2004] على مستوى الصفيحة الماصة، لكن هذه العوائق يمكن أن تعيق حركة الهواء و كذلك هي مكلفة كونها من نفس نوعية الصفيحة الماصة.

III.5.8.2 زيادة جسم مسامي على مستوى الصفيحة الماصة:

يوجد العديد من المواد المسامية يمكن إضافتها على مستوى الصفيحة لزيادة المردود الطاقوي لللاقط الشمسي، يمكن أن تكون هذه الأجسام المسامية مصنعة و يمكن أن تكون طبيعية: كالرمل، و الحجر الأسود [Ranjithkumar et al., 2015] و الحصى [Kareem et al., 2013]. لكن هذه الأجسام المسامية التي توضع في مجرى الهواء يمكن أن تزيد من حرارة التخفيف فوق قيمة الحرارة المطلوبة و هي حتما تعيق حركة هواء التخفيف مما يؤثر على زمن و حركية التخفيف.

III.5.8.3 زيادة طبقة من أكسيد المعدن على مستوى الصفيحة الماصة:

يوجد العديد من الباحثين أضافوا طبقة أو عدة طبقات من أكسيد المعدن على مستوى الصفيحة الماصة لتحسين المردود الطاقوي لللاقط الشمسية، حيث توجد العديد من أكاسيد المعادن التي أظهرت فعاليتها في التحسين

و منها: SiO_2 ، SiO ، MgO ، Al_2O_3 ، TiO_2 ، Ta_2O_5 ، ZrO_2 [Mammadov, 2012].
 أما في دراستنا هذه فنركز على أكسيد السليكون " SiO_2 " الذي إستخدمه Mercs et al. (2016) في شكل خليط من " $\text{VO}_2/\text{VnO}_{2n\pm 1}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ " وكذلك Mammadov (2012) في شكل خليط من " $\text{Cu}+\text{Ni}+\text{SiO}_2+\text{Ni}+\text{SiO}_2$ ". غير أن أكسيد السليكون المستعمل من طرف الباحثين المذكورين سابقا مصنع و يحتاج إلى تقنيات جد عالية للتثبيت بإضافة إلى المضار البيئية المترتبة على ذلك، و لهذا نقترح إستعمال أكسيد السليكون " SiO_2 " الطبيعي المتواجد بنسب كبيرة في رمل الكثبان (أنظر الملحق أ) الغير مكلف و الصديق للبيئة.

الفصل الرابع

العمل التجريبي

1.IV الجزء الأول: التركيب التجريبي و أجهزة القياس

1.1.IV وصف التركيب التجريبي المستعمل:

التركيب التجريبي المستعمل هو عبارة عن مجفف شمسي غير مباشر يعمل على الحمل القسري (أنظر الفصل الأول – أنواع المجففات الشمسية) تم صنعه و تركيبه على مستوى مخبر الطاقات مخبر تطوير الطاقات الجديدة و المتجددة في المناطق الجافة و الصحراوية (L.E.N.R.E.Z.A) بالتعاون مع مخبر الفيزياء لكلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، والموضح في الشكلين (VI-3 و 4) و يتكون من جزئين أساسيين:

1.1.1.IV وحدة توليد الهواء الساخن (اللاقط الشمسي المسطح) :

اللاقط الشمسي المسطح المستعمل في هذه التجارب أبعاده كالتالي:

❖ 2.5 م طول.

❖ 1 م عرض.

❖ 0.12 م سمك.

يتكون اللاقط الشمسي من الأجزاء التالية (انظر الفصل الثالث – مكونات اللاقط الشمسي):

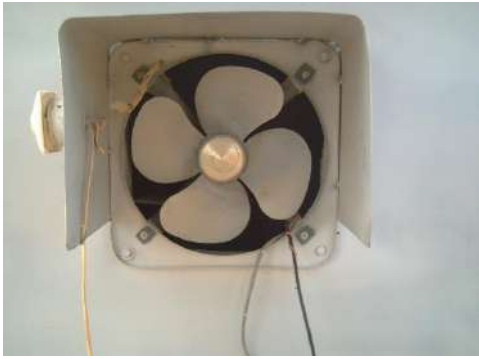
- ✓ الغطاء الشفاف: اللاقط مغطى بصفيحة من الزجاج بسمك 0.004 م.
- ✓ الماص الحراري: مصنوع من الألمنيوم مطلي بالأسود غير اللامع (noire mate). البعد بين الماص الحراري و الغطاء الزجاجي يساوي 0.06 م.
- ✓ العازل الحراري: اللاقط محاط من الأسفل و الجوانب بطبقة من مادة الصوف الزجاج بسمك 0.06 م.
- ✓ الهيكل: مصنوع من الفولاذ، و يضمن زاوية ميلان ثابتة تقدر ب 31 (خط عرض مدينة ورقلة) و موجه نحو إتجاه الجنوب [Louazene et al., 2013].

2.1.1.IV غرفة التجفيف:

غرفة التجفيف مكعبة الشكل، أبعادها الخارجية (2 م إرتفاع، 1 م طول و 0.63 م عرض) محاطة من كل الجهات (الجوانب – الأعلى – الأسفل) بطبقة من العازل الحراري بنفس السمك المستعمل في اللاقط الشمسي، انظر الشكل (4.IV).
غرفة التجفيف مزودة ب:

❖ مقاومة كهربائية بإستطاعة 1500 كيلو واط نتحكم بها بواسطة منظم الحرارة (thermostat) تستعمل لتثبيت حرارة التجفيف داخل غرفة التجفيف (الشكل 1.IV).

❖ مروحة من نوع (KFA-30A) بسرعة 1400 tours/min موجودة في أسفل غرفة التجفيف، مزودة جهاز منظم السرعة نستطيع من خلالها التحكم في سرعة الهواء المتدفق داخل المجفف (الشكل 2.IV).



الشكل (2.IV): المروحة الكهربائية

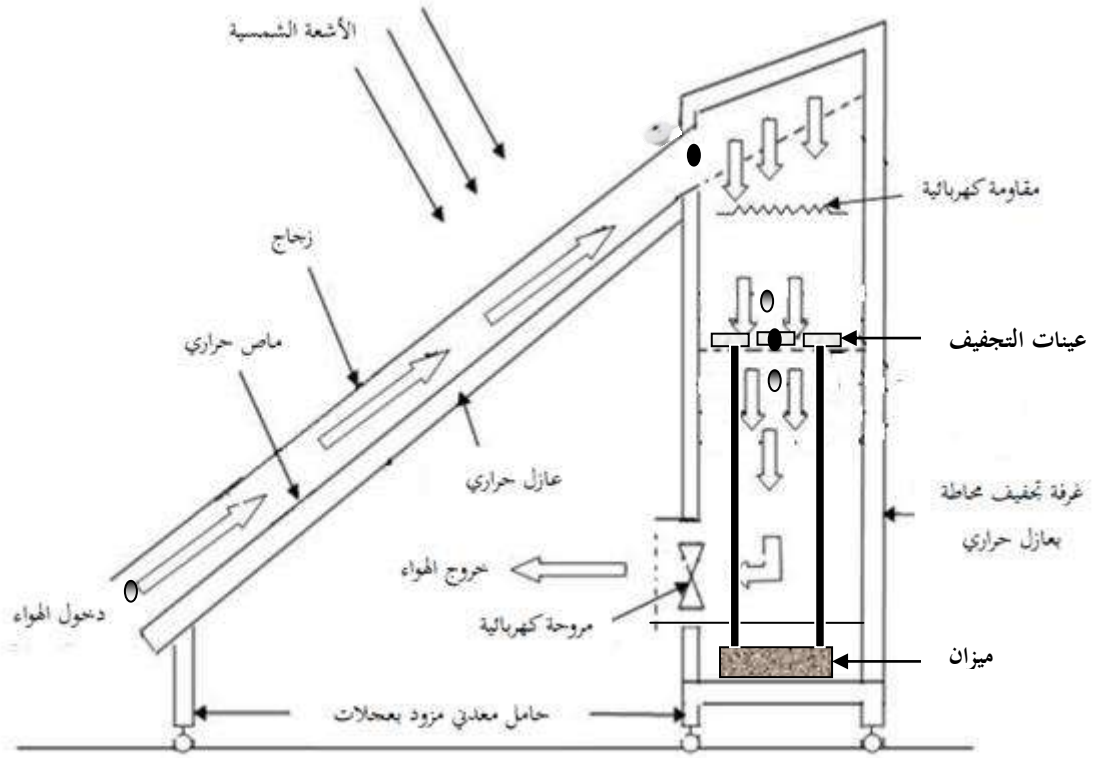


الشكل (1.IV): المقاومة الكهربائية

تُستعمل مادة السليكون كمادة لاصقة للغطاء الزجاجي، و كذلك لمنع تسرب هواء التجفيف من داخل غرفة التجفيف إلى المحيط الخارجي، مما يؤثر على الحرارة المطلوبة لعملية التجفيف .

2.1.IV مبدأ عمل المجفف الشمسي:

بعد توجيه اللاقط الشمسي باتجاه الجنوب و تُشعَّل المروحة، و تُوضع عينات البطاطس في غرفة التجفيف و يغلق الباب بإحكام، عند سقوط أشعة الشمس على الغطاء الزجاجي لللاقط الشمسي تنفذ إلى الماص الحراري، وبذلك يسخن ويبعث أشعة حرارية(الأشعة تحت الحمراء)، و بواسطة الحمل تنتقل الحرارة من الماص الحراري (السطح الأسود) إلى الهواء، و يقوم الزجاج بمنع تسرب الأشعة من خلاله إلى المحيط الخارجي. و تقوم المروحة بسحب الهواء الساخن باتجاه طبق التجفيف، تنتقل الحرارة من الهواء الساخن إلى البطاطس (الباردة نسبيا بالمقارنة بهواء التجفيف) عن طريق الحمل كذلك، و تبعا لذلك تسخن البطاطس وينتج عن ذلك تبخر الماء الموجود فيها، مما يؤدي لزيادة رطوبة الهواء وانخفاض حرارته، ومن ثم يخرج عبر المروحة إلى خارج محيط المجفف.



موضع أجهزة القياس: ● الحرارة ○ الحرارة و الرطوبة معا ☉ الإشعاع الشمسي
الشكل (3.IV): رسم تخطيطي يوضح أجزاء المجفف الشمسي المستعمل



الشكل (4.IV): صورة المجفف الشمسي المستعمل توضح أبعاده وأجزائه الرئيسية

3.1. IV وصف منطقة التجربة:

تم إجراء هذه الدراسة التجريبية بمنطقة ورقلة الواقعة بين خط الطول ($5^{\circ}40'$ شرقا) ودائرة عرض ($31^{\circ}95'$ شمالا) [Bechki et al., 2010]، والتي تتميز بطابع صحراوي جاف حار صيفا وبارد شتاء، ونظرا لقلّة هطول الأمطار فإن أغلب أيام السنة تكون مشمسة وهذا ما يجعلها منطقة غنية بالطاقة الشمسية بمقدار $2263 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ ، و تصل الساعات المشمسة الى 3900 ساعة في السنة. [Louazene et al., 2013]

4.1.IV أجهزة القياس المستعملة:**1.4.1.IV قياس شدة الإشعاع الشمسي:**

تم قياس شدة الإشعاع الشمسي الإجمالي الساقط على سطح اللاقط الشمسي (W/m^2) بواسطة جهاز solarimètre نوع (DS 120) (الشكل IV. 5)، ثبت على إطار اللاقط بزاوية ميل 31 درجة (أنظر الشكل IV. 3)، وأما قياساته فكانت تقرا بواسطة كاشف رقمي.



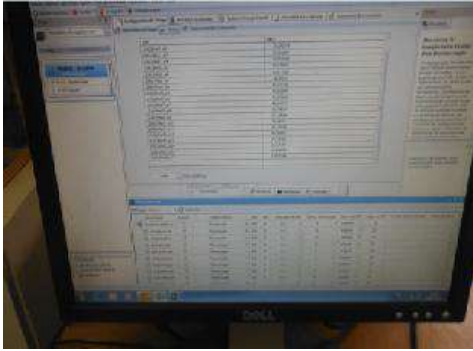
الشكل (IV.5): جهاز قياس الإشعاع الشمسي

2.4.1.IV قياس درجة الحرارة:

استعمل جهاز قياس درجة الحرارة الإلكتروني نوع NI cDAQ-9174 متصل بجهاز حاسوب لحفظ المعلومات حسب الوقت المطلوب (الشكل IV.6)، الجهاز متصل مباشرة بمواضع القياس بواسطة مزدوجات حرارية (Thermocouple) نوع K (Chromel/Alumel).

اختيرت خمسة مواضع للقياس كما هي مبينة في الشكل (3. IV) و هي كالتالي:

- الحرارة في بداية ونهاية اللاقط الشمسي.
- حرارة العينة المدروسة.
- حرارة هواء التجفيف قبل و بعد العينات.



الشكل (6.IV): أجهزة قياس الحرارة 'Thermocouples' متصلة بجهاز حفظ المعلومات NI cDAQ-9174

3.4.1.IV قياس رطوبة الهواء:

قيست الرطوبة النسبية للهواء قبل و بعد العينات في غرفة التجفيف باستعمال Hygromètre (الشكل 7.IV) مزود بكاشف رقمي من طراز Lutron HT-3006A .



الشكل (7.IV): جهاز قياس رطوبة الهواء

4.4.1.IV قياس وزن العينة المجففة:

خلال زمن التجفيف تقاس وزن العينات بواسطة ميزان كهربائي (الشكلين 8.IV) موضوع أسفل غرفة التجفيف موصول مباشرة بطبق التجفيف بواسطة حوامل معدنية لمتابعة وزن العينات خلال مدة التجفيف و تجنب إخراج العينات ووزنها كل مرة كما هو مبين في الشكل (1.IV).



الشكل (8.IV): الميزان

4.4.1.IV قياس الطاقة الكهربائية:

لقياس كمية التيار الكهربائي الذي تستهلكه المقاومة الكهربائية نستعمل عداد كهربائي (الشكل 9.IV)، وهي فرق

القراءة بعد التجربة ناقص القراءة قبل التجربة.



الشكل (9.IV): العداد الكهربائي

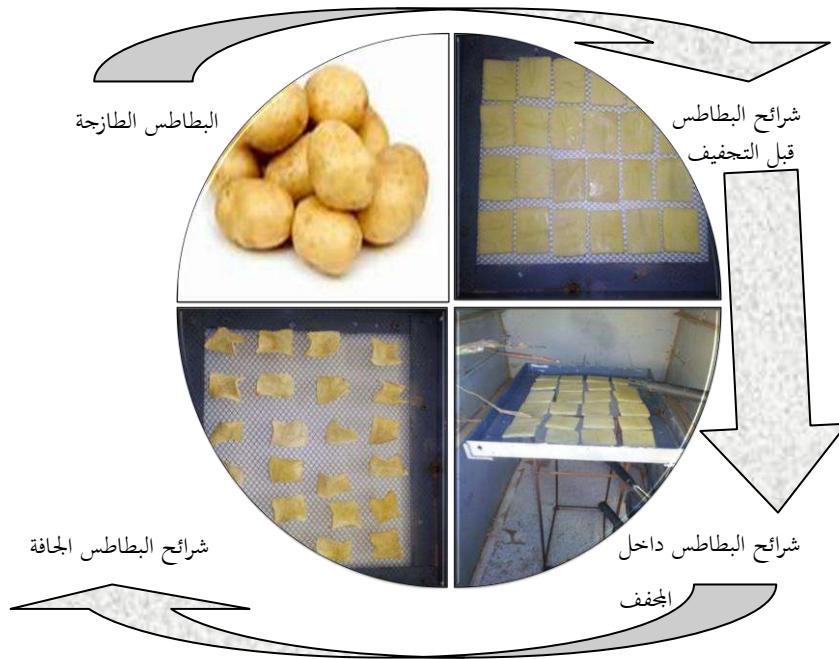
5.1.IV طريقة العمل التجريبي:

تنقسم طريقة العمل إلى الخطوات التالية:

- تحضير العينات، و تحديد نسبة الرطوبة الابتدائية (7.1.IV).
- تركيب الميزان والتأكد من أن طبق التجفيف والهيكلم المعدني الذي يحمله لا يلامس هيكل غرفة التجفيف.
- ضبط درجة الحرارة بواسطة منظم الحرارة (thermostat) حسب ما هو مطلوب في كل تجربة من 50، 55 و 60 درجة مئوية.
- تركيب العداد الكهربائي و التأكد من ربطه بالمقاومة الكهربائية.
- تشغيل المروحة و ضبط سرعتها على الهواء ب0.5 م/ثا.

- التأكد من كل أجهزة القياس من درجة الحرارة، رطوبة و سرعة هواء التجفيف و الإشعاع الشمسي .
- عندما تصل درجة حرارة غرفة التجفيف إلى القيمة المطلوبة يفتح الباب بسرعة و ندخل العينات و تبدأ القياسات كل نصف ساعة.
- إيقاف عملية التجفيف و إخراج العينات من المجفف حتى حين الوصول إلى الرطوبة المطلوبة وهي 0.13 كلغ ماء لكل 1 كلغ من المادة الجافة، حيث يقاس زمن التجفيف الفعلي ابتداءً من وضع العينات داخل المجفف إلى حين الوصول إلى هذه الرطوبة المطلوبة، و التي تتغير بتغير المادة المراد تجفيفها(راجع الفصل الثاني).

الشكل (10.IV) يوضح اهم الخطوات المتبعة خلال عملية تجفيف عينات البطاطس.



الشكل (10.IV): مراحل تجرية تجفيف شرائح البطاطس.

6.1.IV طريقة تحضير عينات التجفيف:

تم اختيار درنات البطاطس صنف ديزيري (Desiree) ذات القشرة الحمراء لانتشار زراعتها بكثرة في منطقة سوف مقارنة بالأصناف الأخرى و أهميتها الاقتصادية لكثير طالبها في السوق. و ينصح بزراعتها في الاراضي الرملية ومن أكثر الاصناف تحملاً للجفاف.

أجريت الدراسة على درنات بطاطس صنف ديزيري (Desiree). بعد إجراء عملية الغسل و التقشير قمنا بتقطيعها إلى أشكال مكعبة (الصورة IV-11): 5 سم طول، 5 سم عرض و 0.5 سم . و يرجع سبب هذا الاختيار لان الشرائح المربع اسرع تجفيفا من الشرائح الدائرية كما هو مثبت في دراسة Naderinezhad et al. (2015).



الشكل (11.IV): شرائح البطاطس في طبق التجفيف

7.1.IV تقدير الرطوبة الابتدائية للعينات:

تم تحديد الرطوبة الابتدائية للعينات المراد تجفيفها بواسطة جهاز التحليل الرطوبي (الشكل IV. 12) من طراز MA SARTORIUS ، و ذلك عبر الخطوات التالية:

- تشغيل الجهاز وضبط درجة حرارته على 105°C [Abdulla et al., 2014].
- إدخال عينة من البطاطس حوالي 2 غ ، علما أن الجهاز مزود بنظام وزن بدقة (0.001g).
- تشغيل الجهاز وتركه يعمل.
- يتوقف الجهاز آليا عندما تثبت الكتلة مع إصدار تنبيه (صوت) .



الشكل (12.IV): جهاز التحليل الرطوبي

خلال أيام التجارب نقوم بأخذ 3 عينات يوميا لتحديد نسبة الماء الابتدائية بواسطة التحليل الرطوبي فنحصل على النسب الممثلة في الجدول (1.IV).

الجدول (1.IV) الرطوبة الابتدائية لعينات التجفيف.

درجات حرارة التجفيف المقترحة (°C)	50	55	60
الرطوبة الابتدائية للعينات (%)	0.4445 ± 85.69	0.5490 ± 84	0.6341 ± 84.3

يمثل الجدول (1.IV) نسب الرطوبة الابتدائية لعينات شرائح البطاطس التي تتراوح من 84 ، 84.3 الى 85.69 % و تعتبر هذه النتائج متقاربة جدا ، و يرجع هذا الاختلاف الى المحتوى الرطوبي من درنة الى اخرى مع العلم ان كل التجارب اخذت من صنف ديزيري (Desiree).

IV 8.1. سبب إختيار المجال الحراري:

في فصل الصيف تصل درجة حرارة الهواء في منطقة ورقلة الى 50 درجة أو أكثر بقليل و باستعمال اللاقط الشمسي يمكن أن تصل إلى 60 درجة، و في أغلب الأبحاث يبدأ المجال الحراري لتجفيف البطاطس من 50 درجة Azizi.et al. (2010)، و بحكم عينات البطاطس مركب حي يشترط عدم إخضاعه لحرارة جد مرتفعة. لهذه الاسباب اخترنا مجال الدراسة من 50، 55 و 60 درجة مئوية.

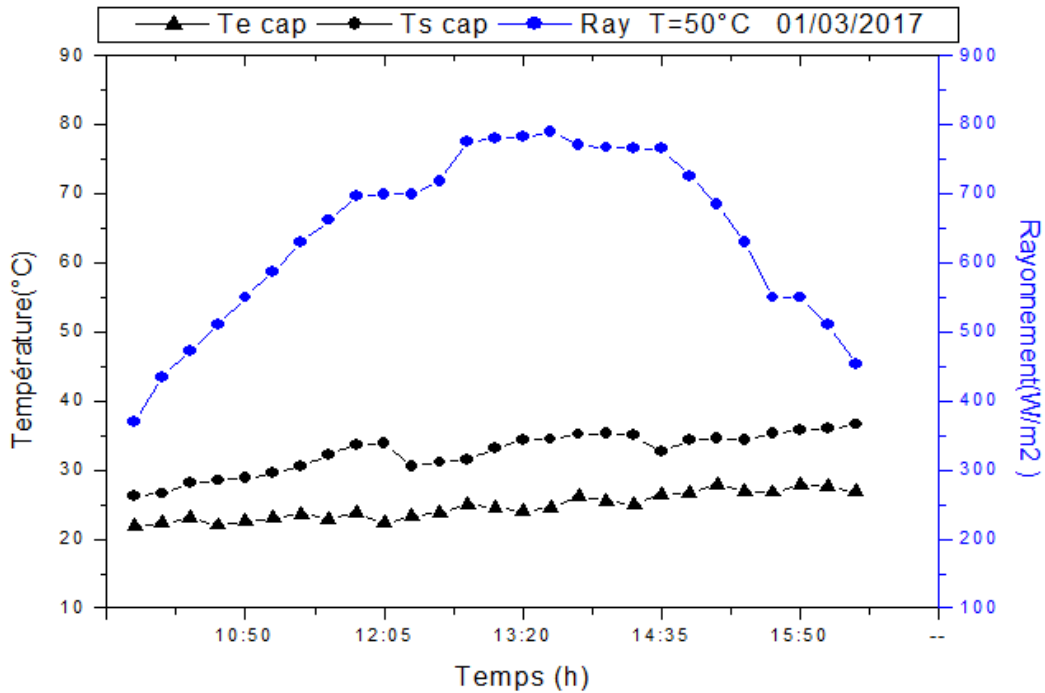
2.IV الجزء الثاني: تحسين المردود الطاقوي للاقط الشمسي

IV 1.2. الإشكالية :

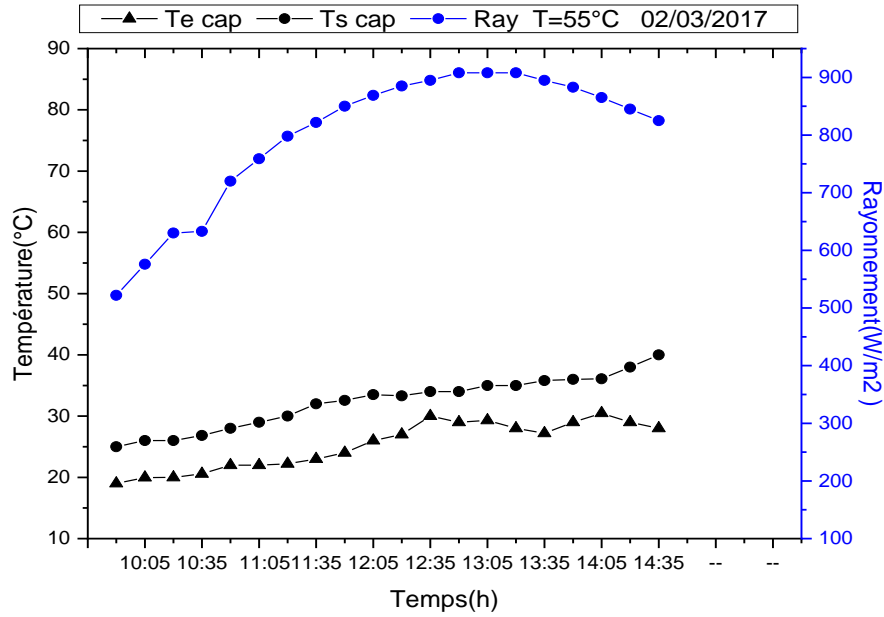
من خلال دراسة تأثير شدة الإشعاع الشمسي على حرارة الهواء الداخل و الخارج من اللاقط الشمسي لوحظ عدم كفاية حرارة الهواء المنتجة من طرف اللاقط الشمسي المزود به المجفف، و هذا ما يدفعنا لزيادة مصدر طاقتي آخر (راجع المجففات الهجينة بالفصل الثالث) للحصول على الحرارة اللازمة للتجفيف و ليكن هذا المصدر الطاقوي الآخر هو المقاومة الكهربائية. لكن السؤال المطروح ما هو مقدار المساهمة الطاقوية لكل من المصدرين: الطاقة الحرارية الشمسية و الكهربائية؟ و كيف يمكن تقليص نسبة مساهمة المقاومة الكهربائية و زيادة نسبة مساهمة الطاقة الحرارية الشمسية خلال عملية تجفيف البطاطس؟

IV 2.2. تأثير شدة الإشعاع الشمسي على حرارة الهواء المار باللاقط الشمسي:

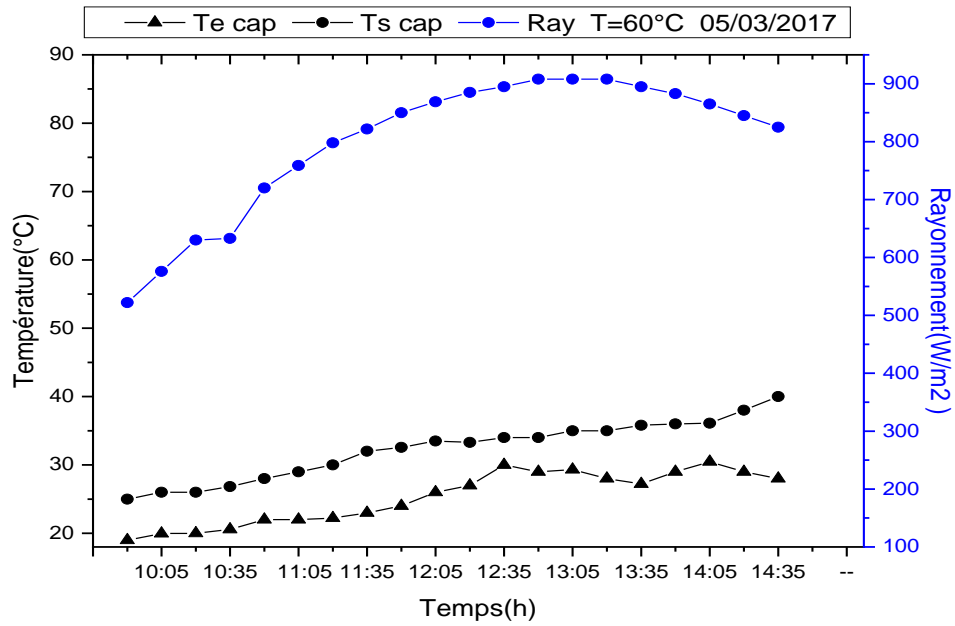
خلال مدة التجفيف نقيس شدة الإشعاع الشمسي الوارد إلى سطح اللاقط الشمسي الذي بدوره يؤثر على درجات الحرارة داخل اللاقط الشمسي ، و الأشكال (IV، 13، 14 و 15) توضح القياسات التجريبية المتحصل عليها خلال مدة التجارب الثلاث 50، 55 و 60 درجة لواء التجفيف.



الشكل (IV.13): منحنيات شدة الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة الداخلة و الخارجة من اللاقط الشمسي خلال مدة التجفيف ب 50 درجة.



الشكل (14.IV): منحنيات شدة الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة الداخلة و الخارجة من اللاقط الشمسي خلال مدة التجفيف ب 55 درجة.



الشكل (15.IV): منحنيات شدة الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة الداخلة و الخارجة من اللاقط الشمسي خلال مدة التجفيف ب 60 درجة.

الأشكال (13، 14، و 15) يمثل تأثر درجة حرارة الهواء المار عبر اللاقط بشدة الإشعاع الشمسي، و

هو يوضح أنّ شدة الإشعاع الشمسي تزداد مع تقادم ساعات النهار ووصلت إلى أقصى قيمة لها عند الساعة الثانية عشر ظهرا

(منتصف النهار)، ثم انخفضت بعد ذلك. وهذا يعود إلى دوران الأرض حول محورها. وهذا يتفق مع ما توصل إليه العديد من

الباحثين الذين أكدوا على أن شدة الإشعاع الشمسي تزداد مع تقادم ساعات النهار وتصل إلى أقصى قيمة لها عند منتصف النهار ثم تنخفض بعد ذلك. و توضح الأشكال (IV. 13، 14 و 15) كذلك أنه عند نفاذ الأشعة الشمسية من خلال الغطاء الزجاجي إلى الصفيحة الماصة ونتيجة لامتناسها أشعة الشمس فإنها تسخن وتبعث أشعة حرارية و التي بدورها تسخن الهواء المار عن طريق الحمل كما هو مفصل في الفصل الثالث. و بذلك تزيد حرارة الهواء الخارج من اللاقط مقارنة بمرارته عند الدخول. و يقوم الزجاج بمنع تسرب هذه الأشعة الحرارية إلى المحيط الخارجي.

IV 3.2. المساهمة الطاقوية لكل من الطاقة الحرارية الشمسية و الكهربائية للمجفف الشمسي الغير المباشر الهجين:

بالإعتماد على نتائج الأشكال (IV. 13، 14 و 15) نستطيع حساب الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط الشمسي و بواسطة العداد الكهربائي نسجل كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة لتثبيت حرارة التجفيف.

IV 1.3.2. الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط الشمسي المسطح:

بواسطة برنامج Origin نستطيع حساب الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط الشمسي خلال ساعات التجفيف، وذلك بحساب مساحة المنحنى ' ΔT ' ، و الطاقة الحراري المنتجة من طرف اللاقط الشمسي ' E_{Star} ' تحسب بالعلاقة (1.VI).

$$(1.VI) \quad E_{Sol} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [kWh]$$

حيث:

✓ \dot{m} : التدفق الكتلي للهواء داخل المجفف الشمسي، و تحسب بالعلاقة التالية: $\dot{m} =$ الكتلة الحجمية للهواء ×

مساحة مقطع دخول الهواء للاقط × سرعة الهواء

✓ C_p : السعة الحرارية للهواء، $C_p = 1005 \text{ j/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

✓ ΔT : فرق حرارة الجمع الشمسي مساحة منحنى ΔT الممثلة أعلاه بمساعدة برنامج Origin.

IV 2.3.2. الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال عملية التجفيف:

بما أن المجفف هجين فهو يشتغل على مصدرين مختلفين من الطاقة ، فالطاقة المستهلكة خلال ساعات التجفيف هي مجموع الطاقة الحرارية المنتجة بواسطة اللاقط الشمسي بالإضافة للكمية التي يتم تسخينها بالطاقة الكهربائية، و تم حساب الطاقة الكهربائية مباشرة باستعمال عداد كهربائي متصل بالمقاومة الكهربائية فقط.

و الطاقة الكلية المستهلكة لتسخين هواء التجفيف تحسب بالعلاقة (2.VI):

$$(2.VI) \quad E_T = E_{sol} + E_{elec} \quad [kWh]$$

نسبة مساهمة كل من الطاقة الشمسية "E_{sol}" والطاقة الكهربائية "E_{elec}" للمجفف الشمسي المحين حسبت بالعلاقتين

التاليتين:

$$(3.VI) \quad E_{sol}(\%) = \frac{E_{sol}(kWh)}{E_{Total}(kWh)} \quad [\%]$$

$$(4.VI) \quad E_{el}(\%) = \frac{E_{el}(kWh)}{E_{Total}(kWh)} \quad [\%]$$

و النتائج المتحصل عليها خلال عملية تجفيف البطاطس تحت درجات حرارة هواء التجفيف 50، 55 و 60 درجة ملخصة في الجدول (2.IV).

الجدول(2.IV) نسبة المساهمة الطاقوية خلال عملية التجفيف للمجفف قبل إجراء التحسين.

درجة الحرارة (°C)	كمية الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط E _{sol} (kWh)	كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية E _{elec} (kWh)	الطاقة الكلية E _T (kWh)	نسبة الطاقة الشمسية المستعملة خلال عملية التجفيف (%) E _{sol}	نسبة الطاقة الكهربائية المستعملة خلال عملية التجفيف (%) E _{elec}
50	13.97	10.77	24.74	56.46	43.53
55	12.42	10.17	22.59	54.98	45.01
60	11.87	9.81	21.68	54.75	45.24

الجدول (2.IV) يمثل نسبة مساهمة الطاقة الشمسية "E_{sol}" والطاقة الكهربائية "E_{elec}" في عملية التجفيف بهذا النوع

من المجفف المحين. الجدول (2.IV) يظهر تأثير حرارة التجفيف على الاستهلاك الطاقوي للمجفف. من الواضح أنه إذا ارتفعت حرارة التجفيف من 50 °C إلى 60 °C فإن الطاقة الكهربائية تزيد من 43.53% إلى 45.24%، وبالمقابل نسبة مساهمة الطاقة الشمسية في تسخين الهواء تنخفض من 56.46% إلى 54.75%. ويرجع ذلك لارتفاع درجة حرارة التجفيف المطلوبة من 50 °C إلى 60 °C.

من الجدول(2.IV) نلاحظ أن نسبة مساهمة الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية لضبط حرارة

هواء التجفيف تراوحت من 43.53% إلى 45.24% و هي نسب جد معتبرة يزيد من تكلفة التجفيف. و لهذا يهدف هذا

الجزء من العمل التجريبي لتحسين المردود الطاقوي لللاقط الشمسي الذي يؤدي لتخفيض هذه التكلفة. علما أن هذه الدراسة تمت في فصل الربيع (شهر مارس و أبريل)، و ترتفع نسبة مساهمة الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية خلال فصل الشتاء و تصل إلى حدود (74.92 - 86.78) % [Boughali et al., 2009].

و لهذا الغرض قامت العديد من الأبحاث لتحسين مصدر الطاقة الحرارية الشمسية (راجع العوامل المؤثرة على المردود الطاقوي بالفصل الثالث) و ذلك بتحسين المردود الطاقوي لللاقط الشمسي، و من هذه الأبحاث نذكر منها زيادة عوائق معدنية عرضية في مسرى الهواء و التي تمت دراستها في مذكرة الماجستير [العاتي، 2011]، أما في أطروحتنا هذه فنقوم بتغطية الماص الحراري بطبقة من رمل الكثبان. و يعود سبب إختيار هذه المادة للتحسين لتوفرها بكميات كبيرة في العالم و بالأخص في الصحراء الجزائرية كما هو مبين بالتفصيل في الملحق أ .

والسؤال المطروح ما هو أحسن رمل من بين الثلاث مناطق المختارة كعينات للدراسة، و ما هو قطر حبيبات الرمل المناسبة و كم هي الكمية التي يجب تثبيتها على مستوى الماص الحراري، و لهذا تم تقسيم هذا الجزء من الدراسة إلى ثلاث سلاسل تجريبية:

➤ السلسلة الأولى: إختيار أحسن منطقة من ثلاث مناطق المختارة للدراسة (ورقلة - توقورت - الوادي) .

➤ السلسلة الثانية : إختيار أحسن سمك لطبقة الرمل (الكمية التي يجب تثبيتها على مستوى الماص الحراري).

➤ السلسلة الثالثة : إختيار أحسن قطر لحبيبات الرمل.

IV .2. 4 التعريف بمناطق أخذ العينات:

تنتمي المناطق التي أخذنا منها عينات الرمل الى العرق الشرقي الكبير كما هو موضح في الشكل (أ.1) و هي كتابي:

♣ تقع منطقة ورقلة على خط عرض (31° 95' شمالا) وخط طول (5° 40' شرقا) [Bechki et al., 2010] على بعد 760 كلم من الجزائر العاصمة.

♣ تقع منطقة توقورت على خط عرض (33° 04' شمالا) وخط طول (6° 05' شرقا) [Fekih et al., 2007] على بعد 600 كلم من الجزائر العاصمة و 160 كلم من ورقلة.

♣ تقع منطقة الوادي على خط عرض (33° 30' شمالا) وخط طول (6° 47' شرقا) [Fekih et al., 2007] ، على بعد 640 كلم من الجزائر العاصمة و 260 كلم من ورقلة.

IV. 2. 5. النماذج التجريبية:

لإجراء هذه الدراسة قمنا بصنع أربعة لواقط شمسية ماثلة للواقط المزود به المجفف لكن بأبعاد أصغر (1م طول , 0.5م عرض و 0.05م إرتفاع) , بمساحة 0.5 م² لكل منها ، حيث ثبتت على الماص الحراري لثلاثة منها طبقة من الرمل و بقي الرابع كشاهد. كل اللواقط الشمسية تتعرض لنفس العوامل الجوية من إشعاع شمسي، سرعة و رطوبة الهواء الخارجي كما هو مبين في الشكل (16.IV).



الشكل (16.IV) : صورة اللواقط الشمسية المدروسة و الشاهد.

IV. 2. 6. مراحل تحضير الرمل :

قبل تثبيت طبقة الرمل على الماص الحراري قمنا بمعالجته على ثلاث مراحل (الشكل 17.IV) :

- أ. **التصنيف:** بعد تنظيف الرمل من الشوائب نقوم بتصنيفه بواسطة منخل كهربائي هزاز فنحصل على ثلاثة أقطار 0.063، 0.125 و 0.250 مم. أما فيما يخص الأقطار أقل من 0.063 مم فحصلنا على كمية ضعيفة جداً و كذلك المنخل أعلى من 0.250 مم كان فارغ. لذلك إعتدنا في دراستنا على الأقطار الثلاثة السابقة فقط.
- ب. **المعالجة الكيميائية:** في البداية نغسل الرمل بالماء المقطر، ثم بمحض " HCl " بتركيز (10%) لازالة الشوائب من الرمل مثل (Al ، Fe ، Ca ، Mg ، Co) [Khalifa et al., 2012] ، و في النهاية الغسل بالماء المقطر لإزالة آثار الحمض من الرمل.

ج. **المعالجة الحرارية:** إدخال العينات للفرن الكهربائي تحت حرارة 900 درجة [Diago et al., 2015] لزيادة

نسبة أكسيد السليكون (SiO₂) في الرمل [مشري، 2016] .



المرحلة -ج-
المعالجة الحرارية



المرحلة -ب-
المعالجة الكيميائية



المرحلة -أ-
التصنيف

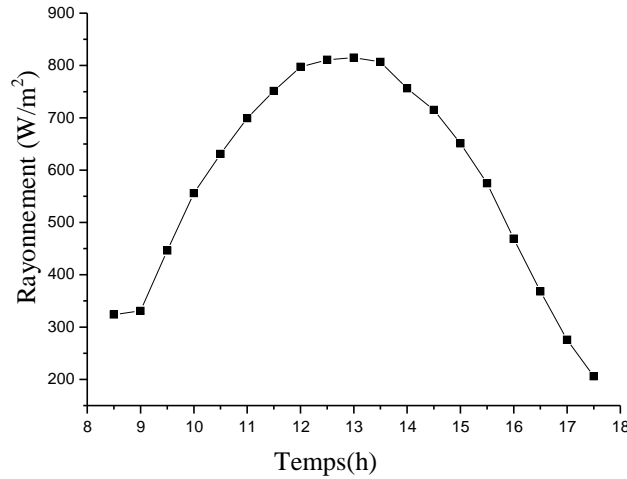
الشكل (IV. 17): مراحل معالجة الرمل.

بعد تحضير عينات الرمل و قبل تثبيتها على مستوى الماص الحراري، تقوم بطلاء الرمل باللون الأسود لزيادة معامل الإمتصاص، و في النهاية تثبيت الرمل على مستوى الماص الحراري. خلال السلاسل الثلاثة نقوم بقياس شدة الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الداخلة و الخارجة من اللواقط الشمسية، ثم نحسب المردود الطاقوي اليومي لكل منها و نقارن بينها.

IV. 2. 7. السلسلة الأولى (سمك طبقة رمل ثابتة تقدر ب 0.56 مم و قطر حبيبات رمل ثابتة 0.125 مم):

الهدف من هذه السلسلة هو اختيار أحسن مردود طاقي من بين ثلاث رمال من مناطق مختلفة من العرق الشرقي. حيث قمنا بتثبيت 400 غ من الرمل أي بسمك طبقة تقدر ب 0.56 مم و بقطر 0.125 مم على مستوى الماص الحراري لثلاثة لواقط شمسية أما اللاقط الرابع فيستعمل كشاهد . فيما كان توزيع اللواقط كالتالي:

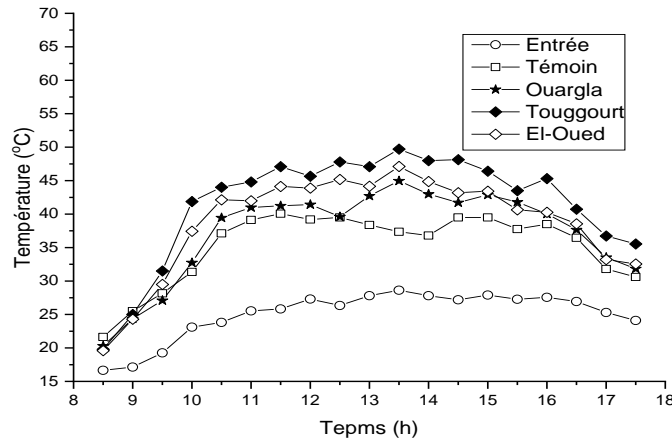
- اللاقط الأول: رمل منطقة ورقلة.
- اللاقط الثاني: رمل منطقة توقرت.
- اللاقط الثالث: رمل منطقة الوادي.
- اللاقط الرابع: له نفس تصميم اللواقط الثلاثة السابقة غير أنه لا يحتوي طبقة من الرمل على مستوى الماص الحراري.



الشكل (18.IV): تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن للسلسلة الأولى.

الشكل (18.VI) يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة خلال يوم دراسة السلسلة الأولى، حيث يزداد الإشعاع

ابتداءً من الصباح و يبلغ أقصاه عند الواحدة زوالا بقيمة 815 W/m^2 ، ثم ينخفض حتى الغروب.



الشكل (19.IV): تأثير نوع الرمل على تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج للواقظ بدلالة الزمن.

الشكل (19.IV) يمثل تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج للواقظ المدوسة المزودة

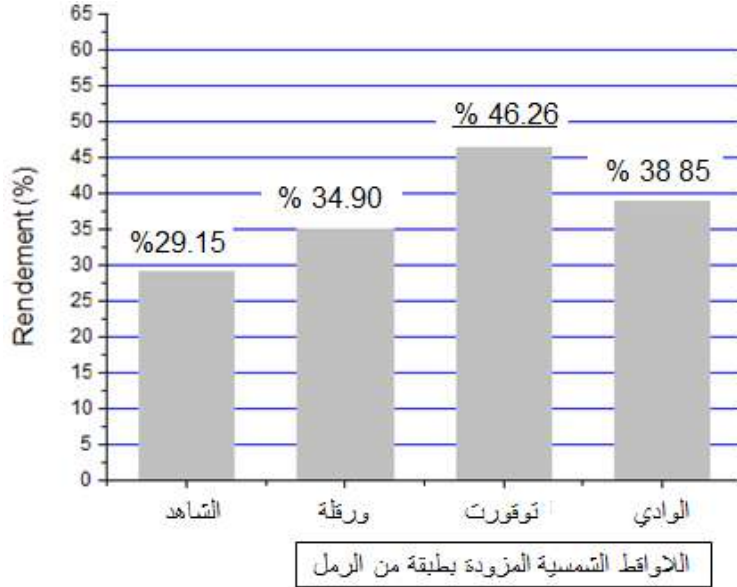
بطبقة من الرمل من ثلاث مناطق مختلفة من العرق الشرقي الكبير (ورقلة - توقورت - الوادي) بدلالة الزمن للسلسلة الأولى.

أقصى قيمة لدرجة حرارة الهواء تحصلنا عليها عند الواحدة زوالا بقيمة $39.5 \text{ }^\circ\text{C}$ بالنسبة للشاهد بالمقارنة بـ $45 \text{ }^\circ\text{C}$ للاقط

المزود برمل منطقة ورقلة، $49.5 \text{ }^\circ\text{C}$ للاقط المزود برمل منطقة توقورت و $47 \text{ }^\circ\text{C}$ بالنسبة للاقط المزود برمل منطقة الوادي.

بملاحظة الشكلين (IV . 18 و 19) يتبين أن منحنى درجات الحرارة يتناسب مع منحنى الإشعاع الشمسي، حيث أن حرارة الهواء تزداد بزيادة الإشعاع الشمسي من الشروق إلى الظهرية و تنقص بنقصانه من الظهرية إلى الغروب.

بالاعتماد على معادلة المردود الطاقوي للاقط الشمسي (8.III) نستطيع رسم الشكل (IV . 20) و الذي يمثل المردود الطاقوي اليومي لمختلف اللواقط المدروسة و الشاهد خلال السلسلة الأولى.



الشكل (IV.20): تأثير نوع الرمل على المردود الطاقوي اليومي للواقط الشمسية .

الشكل (IV . 20) يمثل المردود الطاقوي اليومي للاقط الشاهد و اللواقط المدروسة، وكانت النتيجة كما يلي: 29.15 % للشاهد ، 34.90 % بالنسبة للاقط المزود برمل منطقة ورقلة ، 38.85 % بالنسبة للاقط المزود برمل منطقة الوادي و 46.26 % بالنسبة للاقط المزود برمل منطقة توقورت.

من الشكل (IV . 20) نلاحظ أن اللواقط المزودة بطبقة من الرمل بقطر 0.125 مم و بسمك طبقة ثابتة تقدر ب 0.56 مم يعطي مردود طاقوي يومي أعلى بالمقارنة باللاقط الشاهد الغير مزود بطبقة الرمل. الإشعاع الشمسي يمتص تدريجيا من طرف طبقات الرمل الواحدة تلو الأخرى فتزداد حرارة جزيئات الرمل مما يزيد من درجة حرارة الصفيحة الماصة على عكس اللاقط الشاهد الذي يكون فيه الامتصاص سطحي فقط من طرف الصفيحة الماصة.

من هذه السلسلة الأولى نلاحظ أن إضافة طبقة من الرمل على مستوى الماص الحراري أثرت ايجابيا في المردود الطاقوي اليومي للاقط الحراري، وبالمقارنة بين اللواقط الثلاثة المدروسة نلاحظ أن اللاقط المزود برمل منطقة توقورت أعطى مردود طاقوي أفضل من اللاقطين الآخرين، الوادي و ورقلة على الترتيب. وهذا يمكن أن يرجع لتكوين حبيبات الرمل لكل منطقة، إذ يلاحظ

للهولة الأولى أن ألوان المناطق الثلاثة مختلفة، و حسب محداي و أخرون (2014) أن لإختلاف الألوان علاقة مباشرة بالتركيب الكيميائي للعينات.

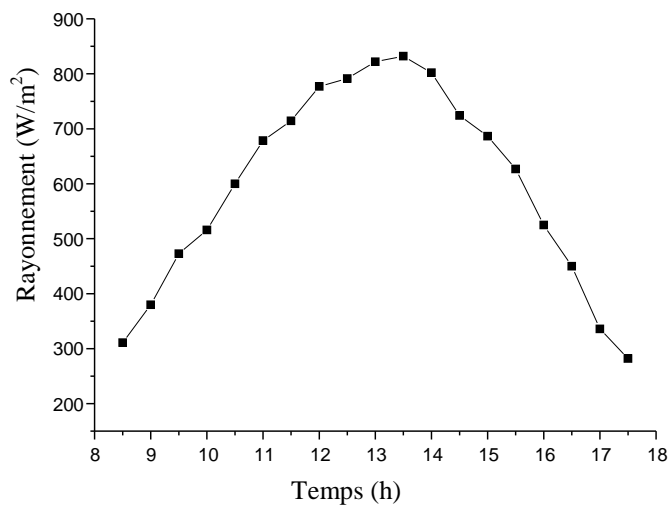
IV. 2. 8. السلسلة الثانية (تغير سمك طبقة رمل و قطر حبيبات رمل ثابتة 0.125مم):

الهدف من هذه السلسلة هو إختبار تأثير تغير سمك طبقة الرمل على المردود طاقيومي لللاقط الشمسي المسطح. من السلسلة الأولى حصلنا على أحسن مردود طاقيومي من اللاقط المزود بطبقة رمل منطقة توقورت، إذن نقوم بتثبيت كميات مختلفة من رمل منطقة توقورت على ثلاث لواقط بقطر ثابت - 0.125 مم - مع الإحتفاظ بالرابع كشاهد لهذه السلسلة، لأن الظروف المناخية من إشعاع و خصائص الهواء من رطوبة و سرعة هواء تختلف من يوم لآخر.

نستطيع التعبير على كمية الرمل المثبت على مستوى الماص الحراري بالكثافة السطحية أي كلغ رمل لكل متر مربع او بسمك طبقة الرمل علما ان الكتلة الحجمية لرمل تساوي 1481.50 كلغ/م³، و النتائج المتحصل عليها في الجدول (3.IV).

الجدول(3.IV). سمك طبقات الرمل المثبتة على اللواقط الشمسية خلال السلسلة الثانية

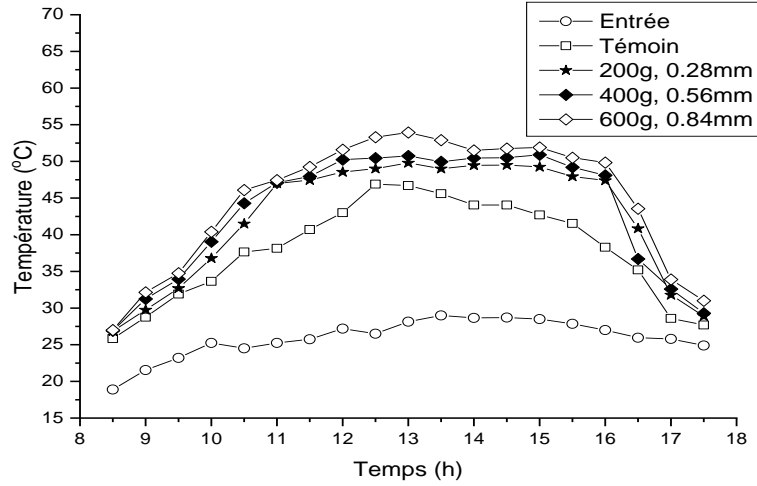
كمية الرمل (غ)	الكثافة السطحية(كلغ/م ²)	سمك طبقة الرمل (مم)
200	0.4	0.28
400	0.8	0.56
600	1.2	0.84
0	0	0



الشكل(IV. 21): تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن للسلسلة الثانية.

الشكل (21.IV) يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن ليوم دراسة السلسلة الثانية، حيث نحصل على

ذروة الإشعاع الشمسي عند الواحدة زوالا بقيمة 832 W/m^2 ، و هي تقارب القيمة المتحصل عليها خلال السلسلة الأولى.



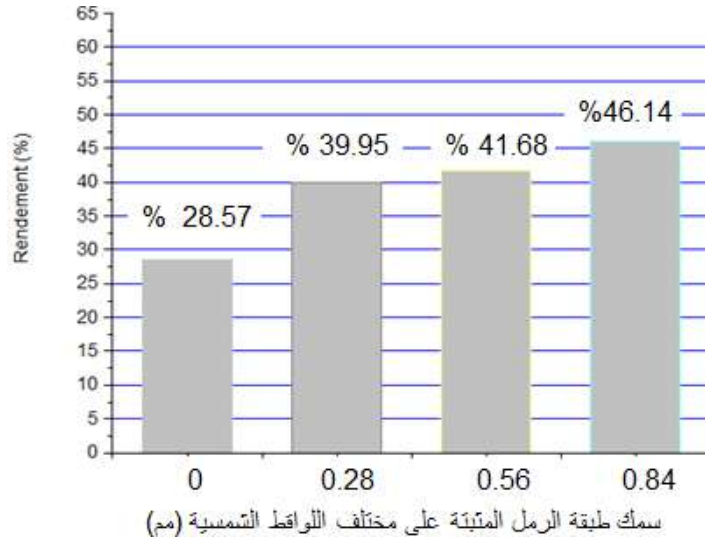
الشكل (22. IV): تأثير سمك طبقة الرمل المثبتة على مستوى الماص الحراري على تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج للواقظ بدلالة الزمن.

الشكل (22. IV) يمثل تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج لللاقظ الشاهد ، و مختلف اللواقظ المدروسة المزودة

بطبقة من رمل منطوقة توفورت بنفس قطر حبيبات الرمل 0.125 مم ، لكن كتلة الرمل متزايدة من 200 غ ، 400 غ إلى 600 غ . و ذلك كله بلالة الزمن. أقصى قيمة لحرارة الهواء تحصلنا عليها عند الواحدة زوالا بقيمة تقدر 47°C بالنسبة للشاهد بالمقارنة ب 49.5°C لللاقظ المزود ب 200 غ ، 51°C لللاقظ المزود ب 400 غ و 54°C لللاقظ المزود ب 600 غ .

الشكل (23. IV) يمثل المردود الطاقوي اليومي لللاقظ الشاهد و اللواقظ المدروسة ، حيث كان 28.57% بالنسبة

للشاهد و هي قريبة من القيمة المتحصل عليها خلال السلسلة الأولى (29.15%)، 39.95% بالنسبة لللاقظ المثبت على صفيحته الماصة 200 غ من الرمل أي بسمك طبقة رمل تقدر ب 0.28 مم . أما لكمية 400 غ من الرمل أي بسمك طبقة رمل تقدر ب 0.56 مم فتحصلنا على مردود 41.68% ، في حين وصل إلى 46.14% عند تثبيت 600 غ من الرمل أي بسمك طبقة رمل تقدر ب 0.84 مم .



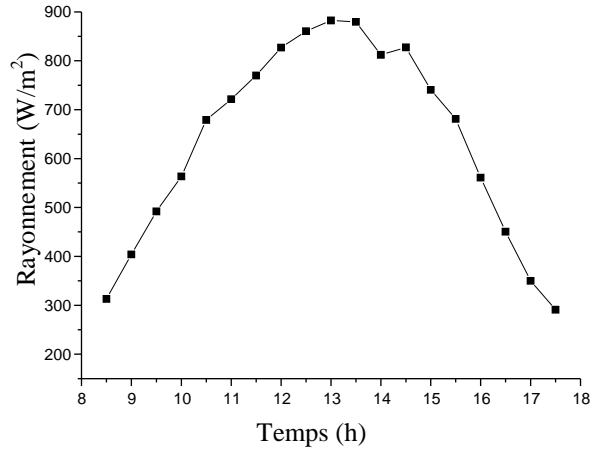
الشكل (IV.23): تأثير سمك طبقة الرمل على المردود الطاقوي اليومي لمختلف اللواقط.

من هذه السلسلة الثانية نلاحظ أن الزيادة في كمية الرمل المثبتة على مستوى الماص الحراري أي سمك طبقة أثرت إيجابيا في المردود الطاقوي اليومي للاقط الحراري، و منه نستنتج أن سمك طبقة الرمل يتناسب طراد مع المردود الطاقوي للاقط الشمسي.

IV. 2. 9. السلسلة الثالثة (سمك طبقة رمل ثابتة و تقدر ب 0.84 مم و قطر حبيبات رمل متغير):

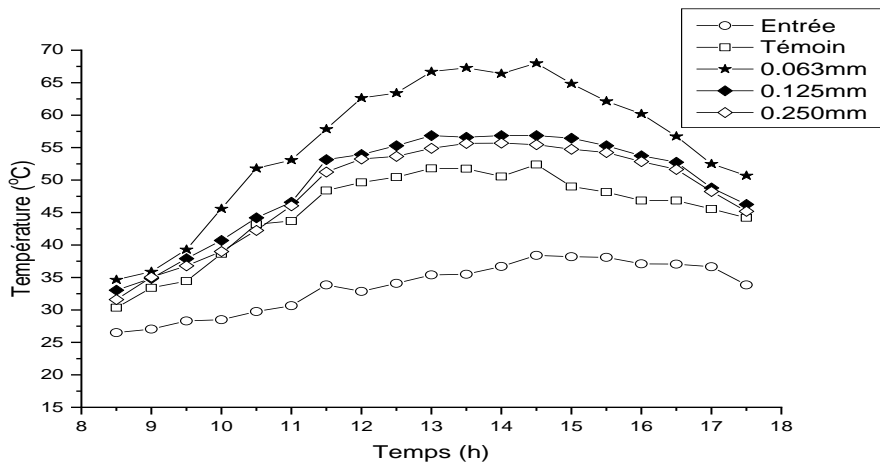
الهدف من هذه السلسلة هو اختبار تأثير قطر حبيبات طبقة الرمل على المردود طاقوي اليومي للاقط الشمسي المسطح. من السلسلة الثانية حصلنا على أحسن مردود طاقوي من اللاقط المزود بطبقة رمل منطقة توفورت بسمك 0.84 مم لطبقة رمل الآزم تثبيتها على الثلاث اللواقط المدروسة و لكن بأقطار حبيبات ومل مختلفة، و هي كالتالي:

- اللاقط الاول: قطر حبيبات الرمل تقدر ب 0.063 مم.
- اللاقط الثاني: قطر حبيبات الرمل تقدر ب 0.125 مم.
- اللاقط الثالث: قطر حبيبات الرمل تقدر ب 0.250 مم.
- اللاقط الرابع: شاهد أي لا يحتوي طبقة من الرمل على مستوى الماص الحراري لهذا اللاقط الشمسي.



الشكل (IV. 24) : تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن للسلسلة الثالثة.

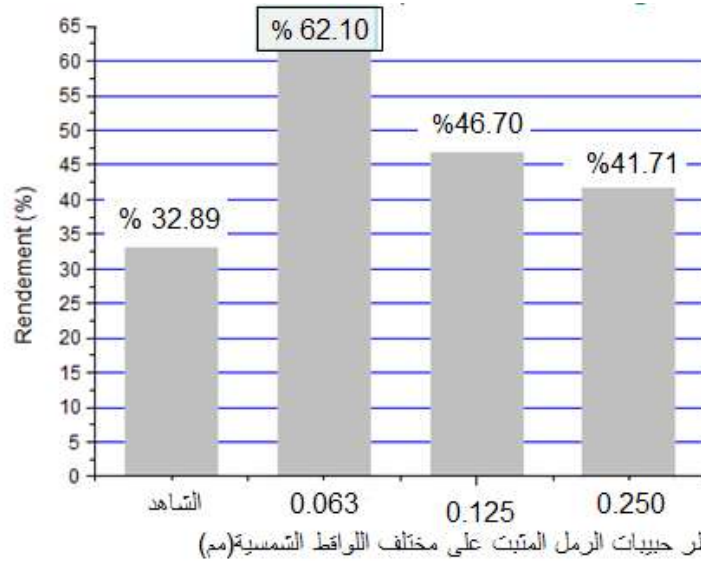
الشكل (24.IV) يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن ليوم دراسة السلسلة الثالثة، حيث نحصل على ذروة الإشعاع الشمسي عند الواحدة زوالا بقيمة 882 W/m^2 ، و هي مرتفعة قليلا بالمقارنة بالسلسلتين الأولى و الثانية، و لكن لا تأثر في الدراسة لأن كل سلسلة هناك لاقط شاهد خاص بها.



الشكل (IV. 25) : تأثير أقطار حبيبات الرمل المثبتة على مستوى الماص الحراري على تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل والخارج للواقط بدلالة الزمن.

الشكل (25 . IV) يمثل تغيرات درجة حرارة الهواء الداخل و الخارج لللاقط الشاهد، و مختلف اللواقط المدوسة المزودة بطبقات رمل منطقة توفورت بنفس سمك طبقة رمل و التي تقدر ب 0.84 مم، لكن اقطار حبيبات الرمل مختلفة من 0.063 مم ، 0.125 مم إلى 0.250مم. و ذلك كله بلالة الزمن. القيم القصوى لدرجة حرارة الهواء تحصلنا عليها عند الواحدة زوالا و التي تقدر ب $51 \text{ }^\circ\text{C}$ بالنسبة للشاهد، وأحسن قيمة تحصلنا عليها عند قطر 0.063 مم بدرجة تقدر ب $67 \text{ }^\circ\text{C}$.

أما بالنسبة لللاقطين الآخرين فكانت نتائجها متقاربة، فحصلنا على 57°C بالنسبة لقطر 0.125 مم و 55°C بالنسبة لقطر 0.250 مم.



الشكل (IV. 26): تأثير قطر حبيبات الرمل على المردود الطاقوي اليومي لمختلف اللواقط الشمسية.

الشكل (IV. 26) يمثل المردود الطاقوي اليومي للاقط الشاهد و اللواقط المدروسة المزودة بصفائح ماصة مثبتة عليها

طبقة من حبيبات الرمال مختلفة الأقطار ، حيث كان المردود الطاقوي بالنسبة للشاهد 32.89% و هي القيمة مرتفعة قليلا بالنسبة للقيم المتحصل عليها خلال السلسلة الأولى و الثانية (28.57% و 29.15%)، فيما بلغنا أحسن مردود طاقي 62.10% عند قطر 0.063 مم ، فيما تحصلنا على 46.70% عند قطر 0.125 مم و 41.71% عند قطر 0.250 مم.

من هذه السلسلة الثالثة نلاحظ أن كبر قطر حبيبات الرمل أثرت سلبا في المردود الطاقوي اليومي للاقط الحراري، و منه

نستنتج أن قطر حبيبات الرمل تتناسب عكسا مع المردود الطاقوي للاقط الشمسي.

بعد هذه الدراسة نحاول تطبيق نتائج السلاسل التجريبية على اللاقط الشمسي المزود به المحفف الشمسي المحجن المستعمل في

الفصل الرابع لمعرفة مدى تخفيض مساهمة الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال عملية التحفيف.

IV. 2. 10. تطبيق التحسين على اللاقط المزود به المجفف الشمسي الغير المباشر الهجين:

انطلاقا من نتائج السلاسل التجريبية السابقة نثبت على مستوى الماص الحراري لللاقط الشمسي المزود به المجفف

الهجين طبقة من رمل منطقة توقورت بقطر حبيبات 0.063 مم و بسمك طبقة تقدر ب 0.84 مم.

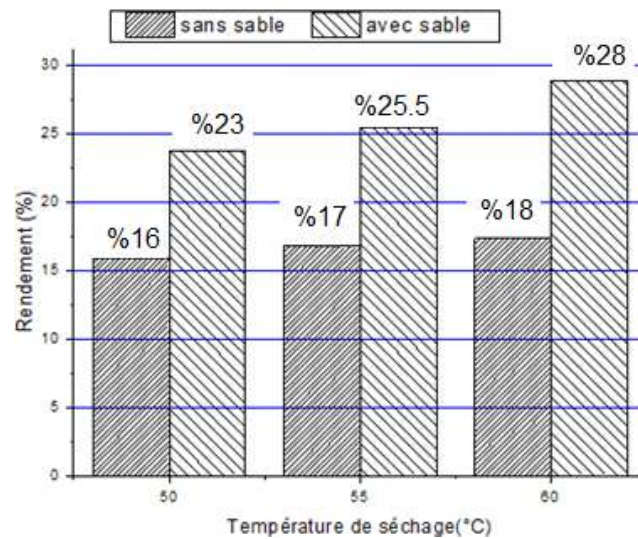
الشكل (IV.27) يمثل المردود الطاقوي لللاقط الشمسي المزود به المجفف الشمسي الهجين و ذلك قبل و بعد اضافة

طبقة الرمل على مستوى الماص الحراري و بالنسبة للثلاث درجات الحرارة المقترحة مسبقا (50، 55 و 60 °C). يبين

الشكل (IV.27) تأثير اضافة طبقة الرمل على مستوى الماص الحراري على المردود الطاقوي حيث يرتفع من 16% إلى 23%

عند 50 °C، و من 17% إلى 25.5% عند 55 °C و من 18% إلى 28% عند 60 °C. إذن لطبقة الرمل أثر إيجابي

على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي المزود به المجفف الهجين.



الشكل (IV.27): المردود الطاقوي قبل و بعد التحسين لللاقط الشمسي المزود به المجفف الشمسي الهجين.

IV. 2. 11. نسب المساهمة الطاقوية للمجفف الشمسي الغير المباشر الهجين بعد التحسين:

نعيد عملية التجفيف بنفس درجات حرارة هواء التجفيف 50، 55 و 60 درجة، و نقوم بحساب نسبة مساهمة كل من

الطاقة الشمسية "E_{sol}" و الطاقة الكهربائية "E_{élec}" للمجفف الشمسي الغير المباشر الهجين المحسن، و النتائج المتحصل عليها

ملخصة في الجدول (IV.3).

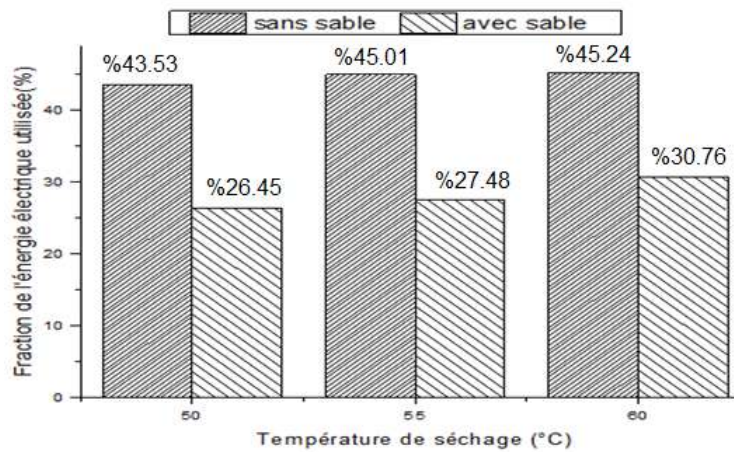
الجدول (3.IV) نسبة المساهمة الطاقوية خلال عملية التجفيف للمجفف بعد إجراء التحسين.

درجة الحرارة (°C)	كمية الطاقة الحرارية المنتجة من طرف اللاقط $E_{sol}(kWh)$	كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من طرف المقاومة الكهربائية $E_{elec}(kWh)$	الطاقة الكلية E_T (kWh)	نسبة الطاقة الشمسية المستعملة خلال عملية التجفيف (%) E_{sol}	نسبة الطاقة الكهربائية المستعملة خلال عملية التجفيف (%) E_{elec}
50	19.18	6.9	26.08	73.54	26.45
55	17.68	6.7	24.38	72.51	27.48
60	14.90	6.62	21.52	69.23	30.76

الجدول (3.IV) يمثل نسبة الطاقة الشمسية " E_{sol} " والطاقة الكهربائية " E_{elec} " المساهمة في عملية التجفيف بهذا النوع من المجففات بعد تثبيت طبقة الرمل على مستوى الماص الحراري. بالمقارنة بين الجدولين (1.IV و 3) نلاحظ أن الطاقة الكلية المستعملة لتسخين هواء التجفيف متقاربة جدا ، فقبل التحسين سجلنا 24.74 ، 22.59 و 21.68 كيلو واط ساعي و بعد التحسين سجلنا 26.08 ، 24.38 و 21.52 كيلو واط ساعي.

IV. 2. 12. مساهمة المقاومة الكهربائية قبل و بعد التحسين:

من الجدولين (1.IV و 3) نستطيع مقارنة نسبة مساهمة الطاقة الكهربائية للمجفف الشمسي المحجن قبل و بعد التحسين و الممثلة في الشكل (28.IV).



الشكل (28.IV): مساهمة الطاقة الكهربائية للمجفف الشمسي المحجن قبل و بعد التحسين.

يمثل الشكل (28.IV) نسبة مساهمة الطاقة الكهربائية في تسخين هواء التجفيف عند درجة حرارة هواء

التجفيف (50، 55 و 60 °C) و باستعمال مجفف شمسي غير مباشر هجين و ذلك قبل و بعد إجراء التحسين على مستوى

الماص الحراري للاقط الشمسي. من الشكل (IV. 28) يتضح أن نسبة الطاقة الكهربائية المساهمة في تسخين الهواء للمجفف انخفضت من 43.53% إلى 26.45% عند 50 درجة، و 45.01% إلى 27.48% عند 55 درجة و من 45.24% إلى 30.76% عند 60 درجة. إذن لطبقة الرمل اثر ايجابي في خفض استهلاك الطاقة الكهربائية المساهمة في تسخين هواء التجفيف.

لثمين النتائج المتحصل عليها في هذا الجزء قمنا بالمشاركة في ملتقى: [Lati^a et al., 2016]

Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability

ثم نشر المقال في مجلة: [Lati^b et al., 2016] AIP Conference Proceedings

و كذلك نشر مقال آخر في مجلة: [Lati et al., 2019] International journal of Green Energy

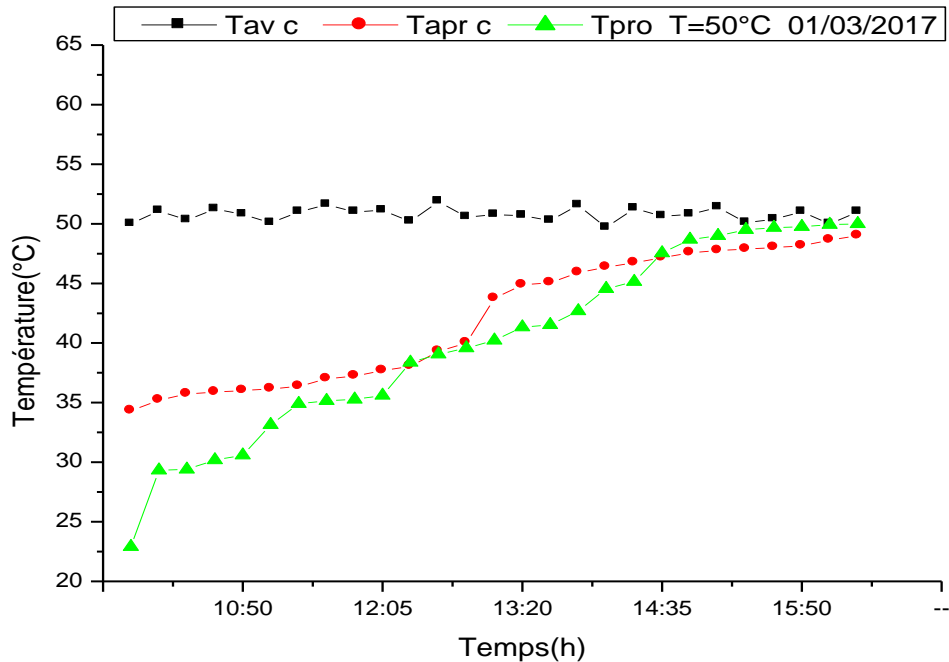
3.IV الجزء الثالث: نمذجة حركية التجفيف

1.3.IV الهدف من الجزء الثالث:

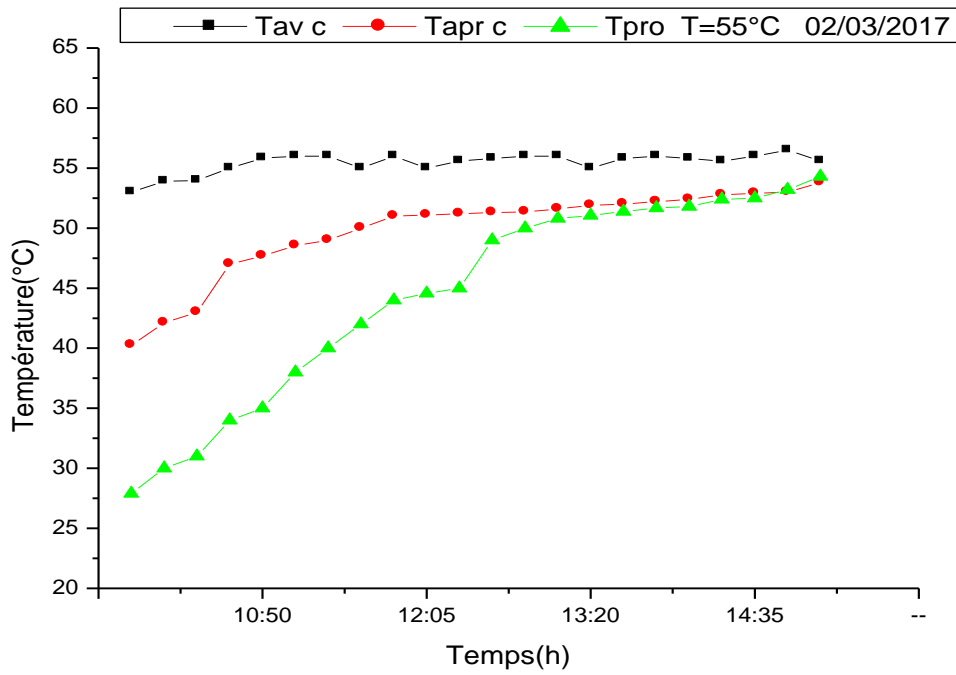
بعد تحسين المردود الطاقوي للاقط الشمسي المزود به المجفف المحجن، نقوم بتجفيف عينات شرائح البطاطس وفق درجات حرارة هواء التجفيف 50،55 و 60 درجة و منه ندرس مدى تأثير حرارة العينات و الرطوبة خلال مدة التجفيف ، و في الأخير نبحت على أفضل نموذج رياضي يصف لنا حركية تجفيف عينات البطاطس و كذلك حساب معامل الإنتشار الرطوبي خلال عمليات التجفيف بواسطة برنامج Curve Expert 1.4 .

2.3.IV تأثير حرارة هواء التجفيف على عينات التجفيف:

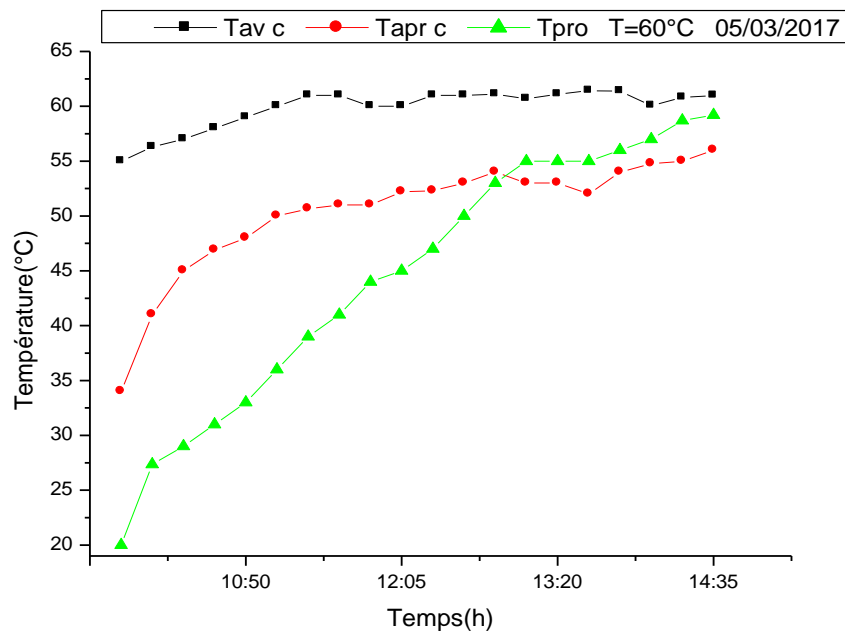
خلال زمن التجفيف نقيس درجة حرارة الهواء المحيط داخل المجفف (قبل و بعد العينات) و مدى تأثيرها على التغير الحراري للعينات المراد تجفيفها، و الأشكال (IV-29، 30، 31) توضح القياسات التجريبية المتحصل عليها خلال مدة التجارب الموافقة لدرجات حرارة هواء التجفيف 50،55 و 60.



الشكل (IV.29): منحنيات درجات حرارة الهواء قبل و بعد اجتيازه العينات و كذلك حرارة العينات و هذا خلال مدة التجفيف ب 50 درجة .



الشكل (30.IV): منحنيات درجات حرارة الهواء قبل و بعد اجتيازه العينات و كذلك حرارة العينات و هذا خلال مدة التجهيف ب 55 درجة.



الشكل (31.IV): منحنيات درجات حرارة الهواء قبل و بعد اجتيازه العينات و كذلك حرارة العينات و هذا خلال مدة التجهيف ب 60 درجة.

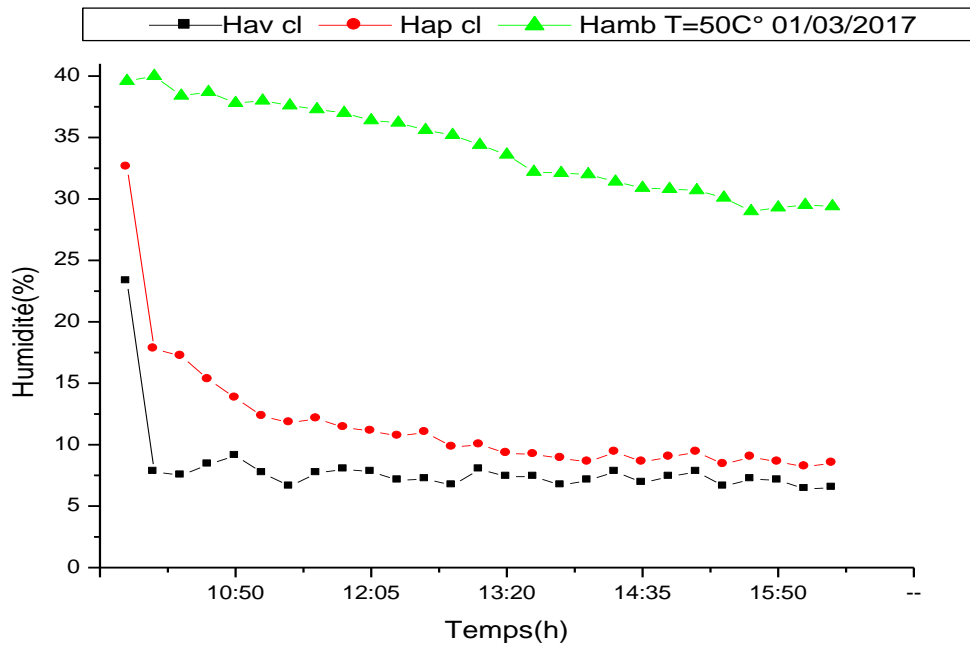
تُوضح الاشكال (30،29-IV و 31) العلاقة بين درجة حرارة العينات و حرارة الهواء داخل غرفة التجهيف خلال

مدة العملية ، يلاحظ أن درجة حرارة العينات ارتفعت حتى وضلت إلى حدود حرارة الهواء المحيط، و هذا بعدما فقدت كمية من

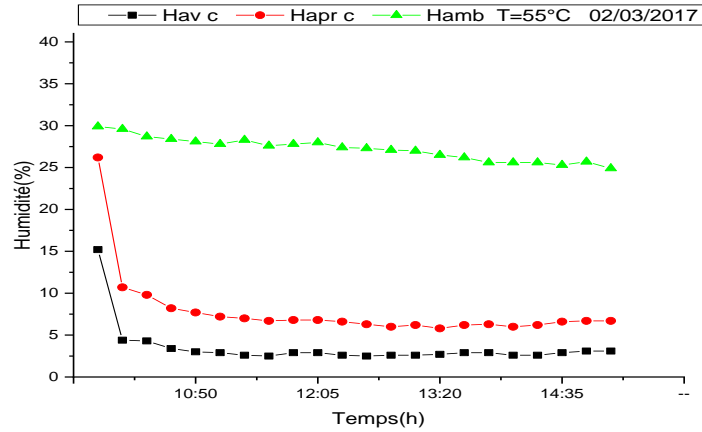
رطوبتها وهذا يعود إلى تبخر الماء من شرائح البطاطس خلال عملية التجفيف الذي يآثر على المحتوى الرطوبي للعينات و منه تزداد حرارة العينات. يحصل انتقال الحرارة بالحمل بين سطح العينة ومحيط تجفيفها بينما يحصل انتقال الحرارة بالتوصيل داخل العينة. و يسجل أيضا انخفاض في حرارة الهواء بعد اجتيازه العينات و هذا راجع لانتقال الحرارة بالحمل بين الهواء الساخن و شرائح البطاطس الباردة نسبيا مما يؤدي إلى انخفاض حرارة هواء التجفيف. غير أن هذا التأثير يبدأ في التراجع مع مرور زمن التجفيف حيث تتقارب حرارة العينات المجففة مع حرارة الهواء المحيط بها.

IV.3.3.3. تغير رطوبة هواء التجفيف خلال مدة التجفيف:

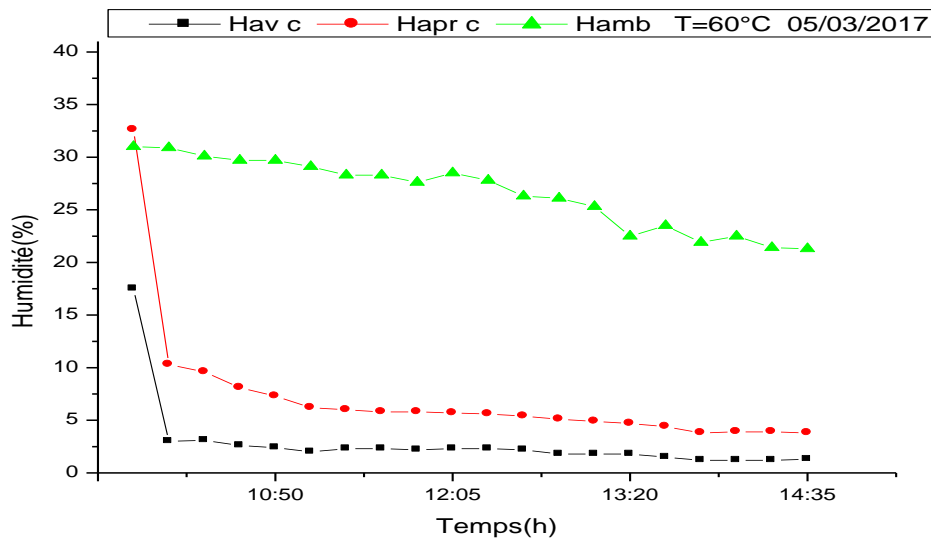
كما هو معروف أنّ درجة رطوبة الهواء تتغير خلال ساعات النهار و كذلك تختلف باختلاف فصول السنة فتنخفض صيفا و ترتفع و تبلغ اقصاها شتاء، و تعتبر الرطوبة من العوامل المؤثرة في عملية التجفيف غير أنّها لا نستطيع التّحكم فيها لأنّها من عوامل الطبيعة. و القياسات التجريبية المتحصل عليها خلال مدة التجارب الموافقة لدرجات حرارة هواء التجفيف 50، 55 و 60 ممثلة في الأشكال (IV-33، 34 و 35).



الشكل (IV.32): تغير رطوبة هواء التجفيف و العينات المجففة خلال مدة التجفيف ب 50 درجة.



الشكل (33.IV): تغير رطوبة هواء التجفيف و العينات المجففة خلال مدة التجفيف ب 55 درجة.



الشكل (34.IV): تغير رطوبة هواء التجفيف و العينات المجففة خلال مدة التجفيف ب 60 درجة.

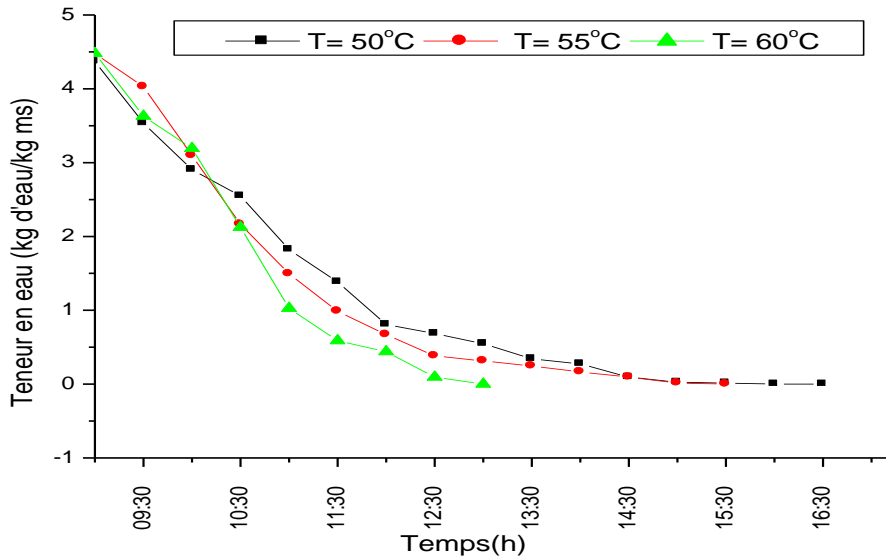
الأشكال (32-IV، 33 و 34) تمثل منحنيات الرطوبة النسبية لهواء التجفيف الداخل إلى اللاقط الشمسي و ذلك رطوبة الهواء الساخن داخل غرفة التجفيف خلال مدة عملية التجفيف. يلاحظ من الأشكال (32-IV، 33 و 34) هبوط لمنحنى الرطوبة النسبية للهواء الداخل إلى اللاقط الشمسي و يعود السبب في ذلك لزيادة شدة الإشعاع الشمسي الذي بدوره يزيد من حرارة الجو الخارجي و بالتالي يأتُر سلبا على الرطوبة النسبية للهواء الداخل إلى اللاقط الشمسي.

ويلاحظ من الأشكال (32-IV، 33 و 34) أيضا أن هنالك هبوط حاد لمنحنى الرطوبة النسبية للهواء بعد مروره على العينات خلال الدقائق الأولى للتجفيف ، وهذا يعود لوجود الماء الحر و السطحي في عينات الذي يتبخر بسرعة منها وهذا ما يُسمى بمرحلة التجفيف الثابت، يكون الماء عندها غير مرتبط ويتطلب زمن قصير لخروجه من البطاطس. وبعد هذه المرحلة تبدأ مرحلة التبخر المتناقص، وعندها يكون الماء مرتبط بالغذاء بقوة ويحتاج إلى زمن كبير لخروجه مما يؤدي إلى خفض سرعة انتقاله إلى الهواء المحيط به(انظر الفصل الأول).

أما بالنسبة لانخفاض الرطوبة النسبية للهواء قبل مروره على العينات بالرغم من ثبات الحرارة حسب كل تجربة، فيعود لانخفاض رطوبة الهواء الخارجي التي تتأثر بارتفاع درجة الحرارة.

4.3.IV المحتوى الرطوبي للعينات:

المحتوى الرطوبي يُحسب على أساس جاف وفق المعادلة(3.II) وهذا من أجل الحصول على الرطوبة النهائية المطلوبة وهي 0.13 كلغ ماء لكل 1 كلغ من المادة الجافة ، كما هو مبين في الشكل (35.IV).



الشكل (35.IV): تأثير درجات حرارة التجفيف على تغيرات المحتوى الرطوبي للعينات.

الشكل (35.IV) يمثل تأثير درجة حرارة هواء التجفيف على المحتوى الرطوبي على أساس جاف للعينات. إن منحنى تغيرات المحتوى الرطوبي له فائدة كبيرة في تحديد الزمن اللازم للتجفيف. و يلاحظ من الشكل (35.IV) انخفاض في المحتوى الرطوبي للعينات، وهذا بسبب فقدان كمية الماء من البطاطس إلى هواء التجفيف، وهذا الفقدان يتناقص مع زيادة زمن

التجفيف. حيث تطلب التجفيف تحت حرارة 50 درجة 450 دقيقة بينما تطلب 55، 60 درجة زمنا مقداره 390 و 240 دقيقة على التوالي. يحصل انتقال بالانتشار داخل العينة بدون حدوث تغير بالطور للسائل الرطوبي (التبخر يحصل على السطح فقط).

كما أظهرت نتائج الشكل (35.IV) أن تغير المحتوى الرطوبي يتأثر بصورة مباشرة بزيادة درجة حرارة هواء، وهذا يعود إلى أن الزيادة في درجة الحرارة أدى إلى الزيادة في درجه حرارة المكتسبة من طرف العينات، و منها السرعة في تبخير الماء من داخل المسامات. و منه نستنتج أن حرارة هواء التجفيف يتناسب عكسا مع زمن التجفيف.

جاءت هذه النتائج مطابقة لما وجدته الباحثين Naderinezhad et al. (2015) و فحلول و اخرون (2009) حيث أوضحوا أن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة سرعة التجفيف. ويعود السبب في زيادة نسبة سرعة التجفيف بزيادة درجة الحرارة إلى ازدياد نسبة التبخر للماء الموجود في داخل الخلايا نتيجة لزيادة حرارة العينات .

5.3.IV نمذجة منحنيات التجفيف :

تم حساب المحتوى الرطوبي المختصر "Xr (t)" للعينات بواسطة المعادلة (8.II) المذكورة في الفصل الثاني ، أما المحتوى الرطوبي عند التوازن "Xeq" فحسبت بواسطة المعادلة (9.II) و الثابتين "K" و "C" حسب التالي.

$$(5.IV) \quad C = 1.514.10^{-09}. \exp (61089/ R.T).$$

$$(6.IV) \quad K=72.765. \exp (-11710/ R.T).$$

و بمساعدة المعادلة التالية حسب المحتوى الرطوبي عند التوازن:

$$(7.IV) \quad X_m = 1.067.10^{-09}. \exp (47614/ R.T).$$

حيث:

$$\diamond R: \text{ ثابت الغازات المثالية } (J.mol^{-1}.K^{-1})$$

$$\diamond T: \text{ درجة حرارة هواء التجفيف } (K)$$

بيانات نسبة الرطوبة مع زمن التجفيف تم التنبؤ بها من خلال عدة نماذج للتجفيف بالطبقة الرقيقة كما في الجدول (1.II) بالفصل الثاني وهذه النماذج مستعملة بشكل واسع جداً لوصف حركية تجفيف أغلب الأغذية. معامل الارتباط «r» و مربع كاي «S» من أهم المعايير المحدد لمدى ملائمة النموذج الرياضي.

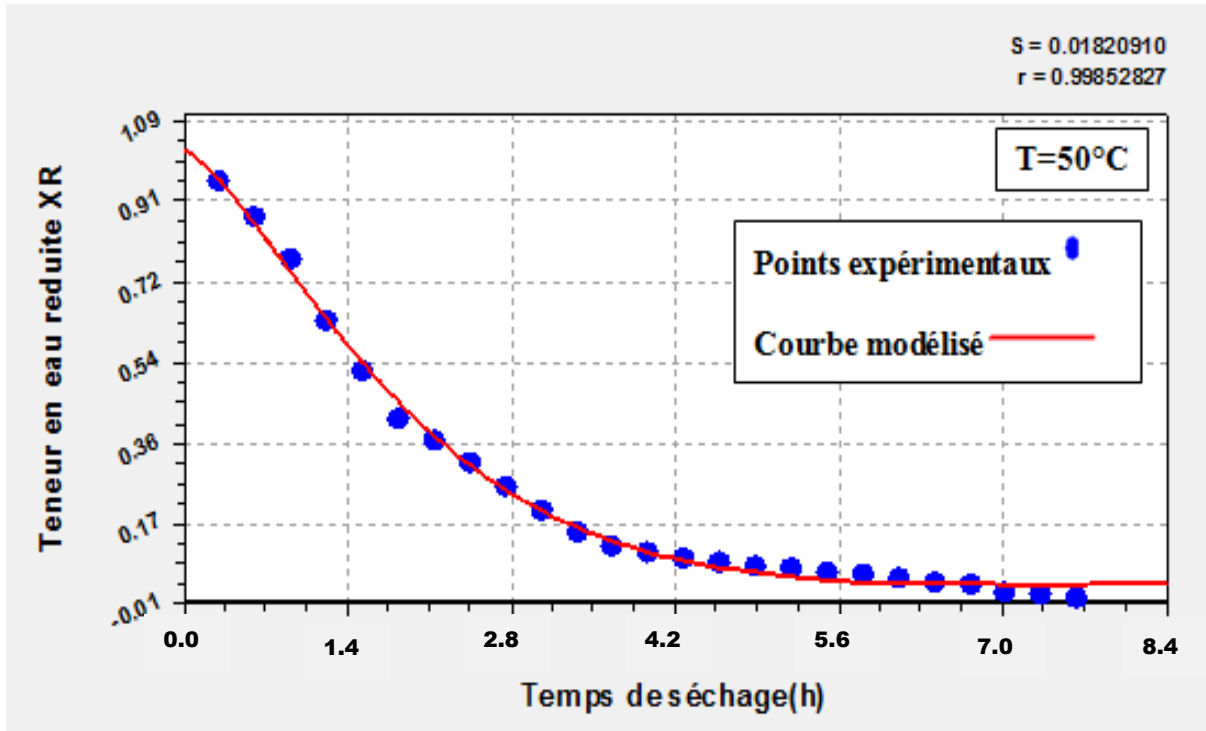
الجدول (5.IV) الثوابت التجريبية والنتائج الإحصائية المتحصل عليها باستعمال برنامج Curve Expert 1.4.

S	r	الثوابت	(°C)T	النموذج الرياضي
0.0477	0.9884	k=0.2870	50	Newton
0.0436	0.9904	k=3.5047	55	
0.0440	0.9902	k=0.3935	60	
0.0365	0.9935	a =1.1048 ; k =0.3151	50	Henderson et Pabis
0.0369	0.9935	a =1.0781 ; k =0.3759	55	
0.0408	0.9920	a =1.0588 ; k =0.4149	60	
0.0234	0.9973	k =0.1847 ; n =1.3179	50	Page
0.0198	0.9981	k =0.2474 ; n =1.2870	55	
0.0228	0.9973	k =0.2879 ; n =1.28064647636	60	
0.0354	0.9941	a=1.1196 ;k=0.2928 ; c=-0.0272	50	Logarithmique
0.0324	0.9952	a=1.1075 ;k=0.3309 ; c=-0.0486	55	
0.0355	0.9943	a=1.0947 ;k=0.3579; c=-0.0565	60	
0.0185	0.9983	a =1.9494 ;k =0.4366	50	Deux termes exponentiels
0.0447	0.9904	a =0.9985 ; k=0.3495	55	
0.0477	0.9891	a =0.0159 ;k=24.1631	60	
0.0430	0.9913	a =2.2916 ; k =0.1982 b =0.7577	50	Approche de la diffusion
0.0355	0.9943	a =2.2406 ; k =0.2329; b=0.7259	55	
0.0238	0.9974	a =-11.2252 ;k=0.7307; b=0.9389	60	

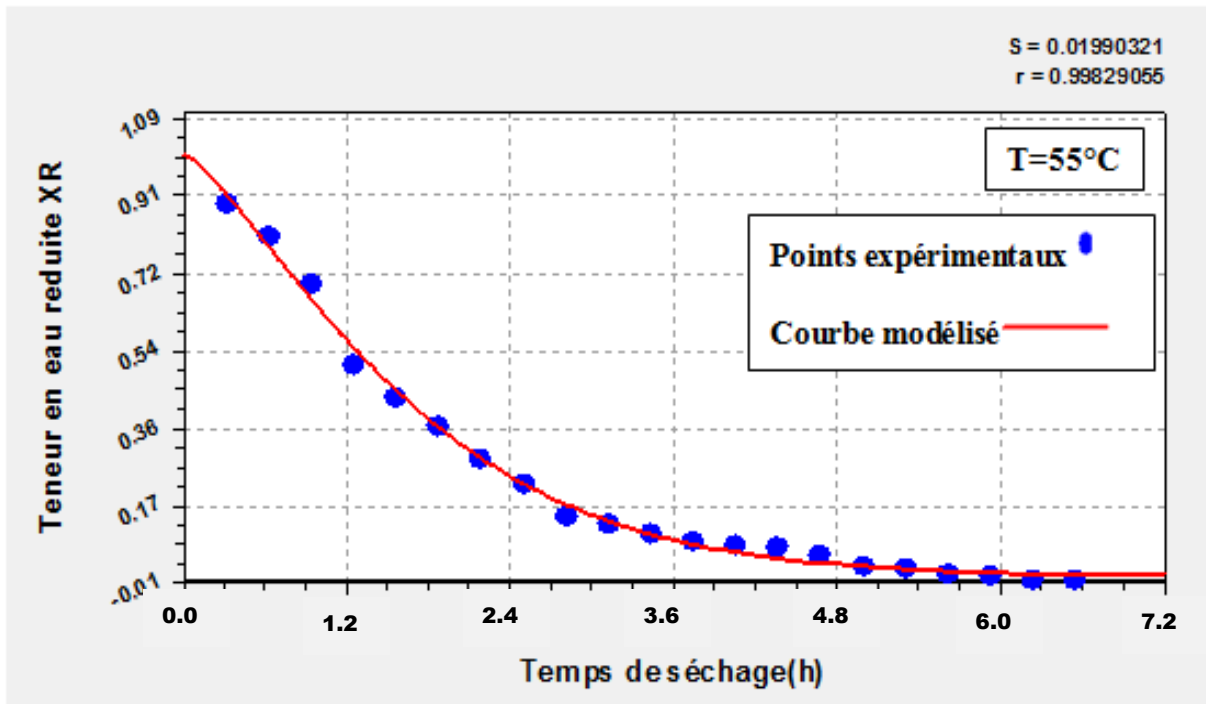
0.0430	0.9913	$a=-1.132 ; k=0.1474 ; k_0 =0.2003$	50	Verma et al.
0.0354	0.9943	$a= -1.7625; k=0.1779 ; k_0=0.2264$	55	
0.0355	0.9943	$a=-1.4379 ; k=0.1926 ; k_0 =0.2569$	60	
0.0381	0.9935	$a =0.3551;k_0=0.3151; b =0.7496; k_1=0.3152$	50	Deux termes
0.0390	0.9935	$a=0.3378; k_0=0.3767; b=0.7402; k_1=0.3755$	55	
0.0435	0.9920	$a =0.3413;k_0=0.4133; b =0.7173; k_1=0.4154$	60	
0.0182	0.9985	$a=1.0209; k=0.1872; n=1.3631; b=0.0025$	50	Midilli et
0.0201	0.9982	$a=1.0026; k= 0.2451; n=1.3159; b=0.0013$	55	Kucuk
0.0245	0.9974	$a=0.9789; k=0.0265; n=1.3501; b=0.0011$	60	
0.0373	0.9935	$A =1.1048; c=0.1484; L=0.6862$	50	Equation de diffusion de Fick
0.0379	0.9935	$A =1.0780; c =0.1515; L =0.6349$	55	
0.0421	0.9920	$A =1.0588; c =0.1525; L =0.6064$	60	

يُوضح الجدول (5.IV) الثوابت التجريبية والنتائج الإحصائية المتحصل عليها من نمذجة معادلات الطبقة الرقيقة المختلفة عند تحفيز البطاطس في ثلاث درجات حرارة مختلفة و ذلك باستعمال برنامج Curve Expert. من النتائج نلاحظ ان معامل الارتباط "R" لم يقل عن 0.98844541 حيث تؤكد النماذج العشرة المختارة كانت متقاربة جدا. إن أعلى قيمة لمعامل الارتباط "R" للنموذج الرياضي يكون هو الأفضل في وصف تغير نسبة الرطوبة مع زمن التحفيز.

من خلال الجدول (5.IV) تحصلنا على أعلى قيم لمعامل الارتباط عند استعمال نموذج Midilli et Kucuk حيث بلغت 0.99852827 ، 0.99828415 و 0.99749337 الموافقة لدرجات حرارة هواء التحفيز 50، 55 و 60 درجة على التوالي كما هو مبين في الأشكال (IV-36، 37، 38) ، و منه نستنتج أن أفضل نموذج رياضي في وصف حركية تحفيز شرائح البطاطس في درجات حرارة من 50 إلى 60 درجة هو نموذج Midilli et Kucuk.

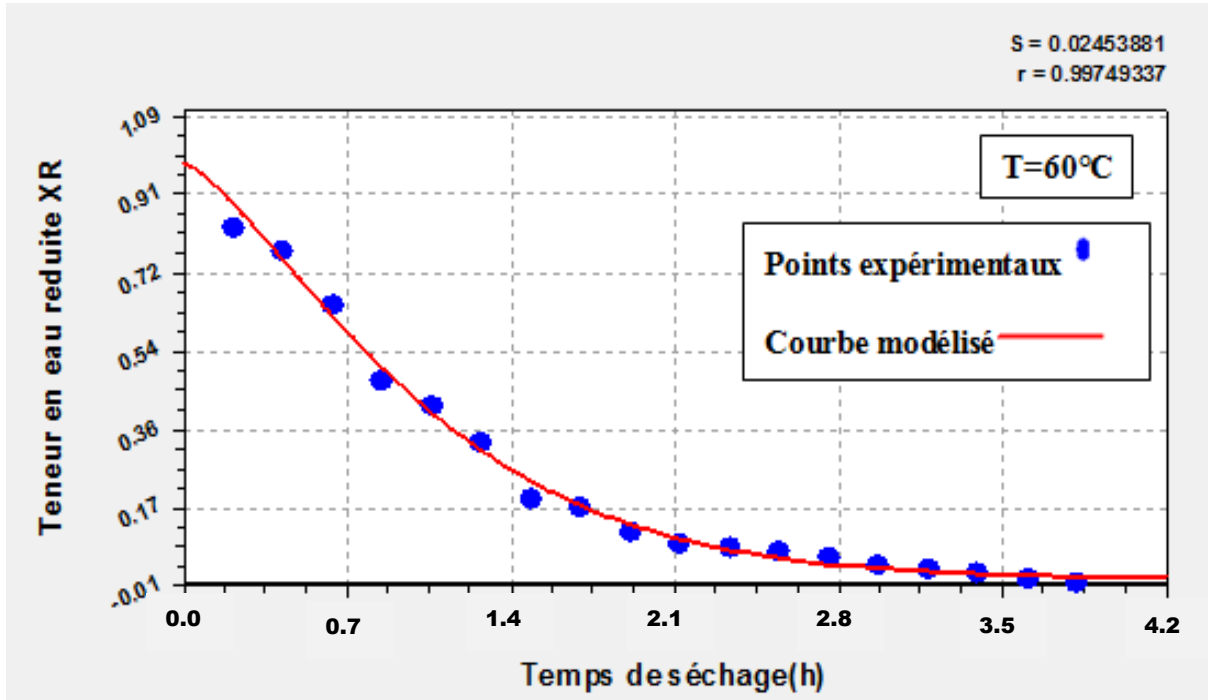


الشكل (36.IV): مقارنة منحنيات المحتوى الرطوبي المختصر للقيم التجريبية و نموذج Midilli et Kucuk بدلالة زمن التجفيف ب50 درجة بواسطة برنامج Curve Expert.



الشكل (37.IV): مقارنة منحنيات المحتوى الرطوبي المختصر للقيم التجريبية و نموذج Midilli et Kucuk بدلالة زمن التجفيف ب55 درجة بواسطة برنامج Curve Expert.

Verma et al.



الشكل (38.IV): مقارنة منحنيات المحتوى الرطوبي المختصر للقيم التجريبية و نموذج Midilli et Kucuk بدلالة زمن التجفيف ب60 درجة بواسطة برنامج Curve Expert.

جاءت هذه النتائج المتحصل عليها مطابقة لما وجدته الباحثين Naderinezhad et al (2015) و

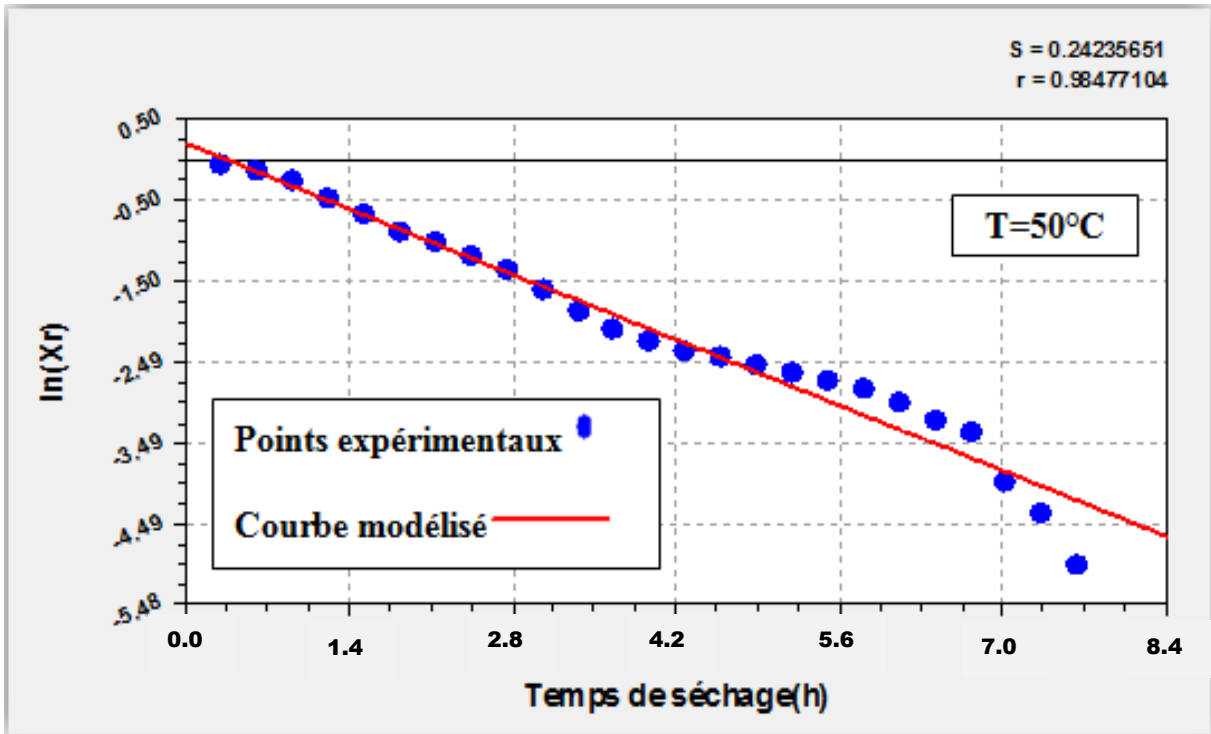
Darvishi (2012) حيث أثبتوا أن أحسن نموذج رياضيائي لوصف حركية التجفيف هو نموذج Midilli et Kucuk

$$X_r(t) = a \exp(-k \cdot t^n) + bt$$

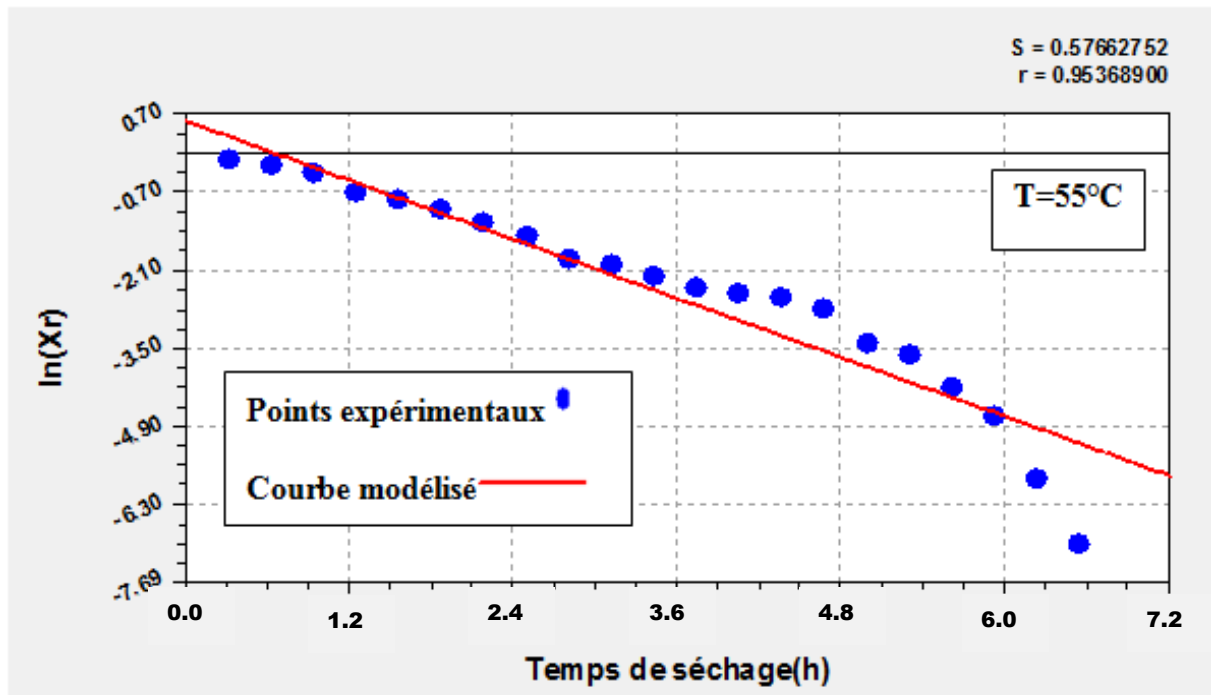
6.3.IV حساب معامل الانتشار الرطوبي خلال عملية التجفيف.

لتقدير معامل الإنتشار الرطوبي نرسم بيانات $\ln(XR_t)$ بدلالة زمن التجفيف كما هو موضح الفصل الثاني، و

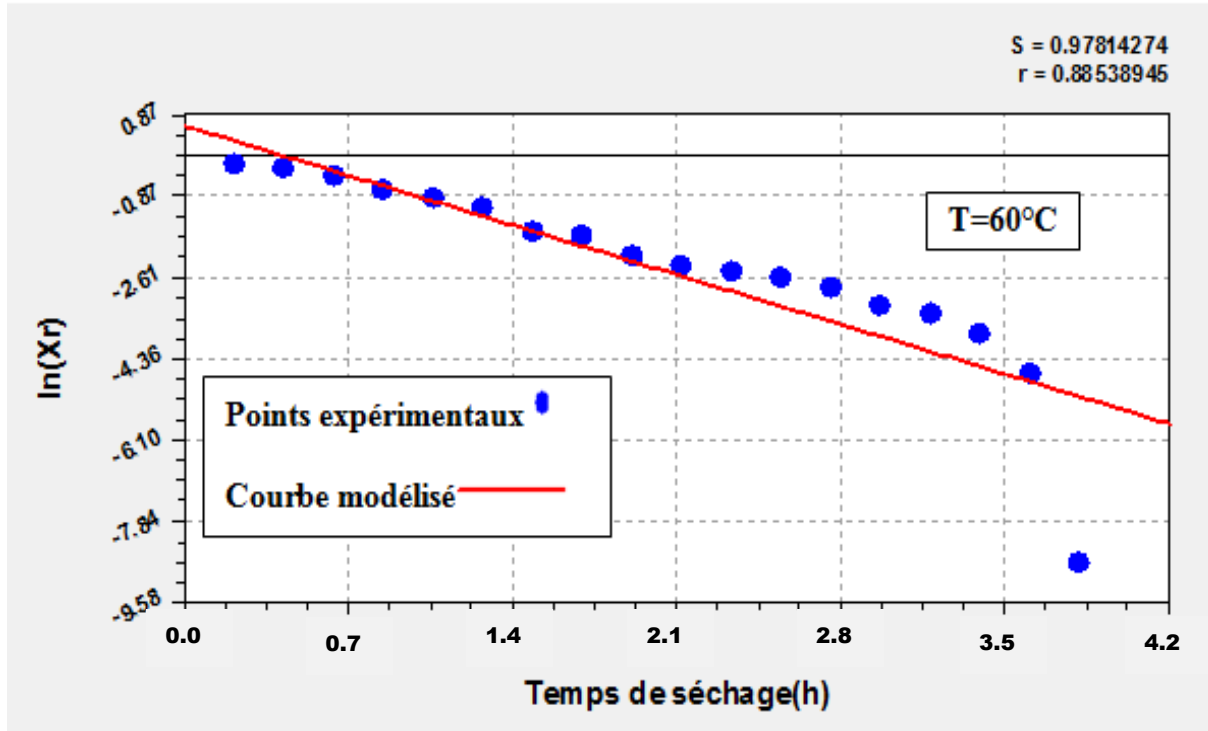
ذلك بواسطة برنامج Curve Expert و المنحنيات المتصل عليها ممثلة في الأشكال (39-IV، 40 و 41).



الشكل (39.IV): تغيرات $\ln(XR)$ بدلالة زمن التجفيف شرائح البطاطس تحت درجة حرارة هواء 50 درجة بواسطة برنامج Curve Expert.



الشكل (40.IV): تغيرات $\ln(XR)$ بدلالة زمن التجفيف شرائح البطاطس تحت درجة حرارة هواء 55 درجة بواسطة برنامج Curve Expert.



الشكل (41.IV): تغيرات $\ln(Xr)$ بدلالة زمن التجفيف شرائح البطاطس تحت درجة حرارة هواء 60 درجة بواسطة برنامج Curve Expert.

بالاعتماد على المعادلة (II-25) نستطيع حساب معامل الانتشار الرطوبي الفعال لمختلف عمليات التجفيف تحت درجات حرارة هواء التجفيف.

الجدول (6.IV): معامل الإنتشار الرطوبي الفعال لشرائح البطاطس تحت درجات الحرارة المدروسة.

r	$D_{eff} (m^2 / s)$	T(°C)
0.98477104	$1.2867 \cdot 10^{-10}$	50
0.95368900	$2.1982 \cdot 10^{-10}$	55
0.88538945	$2.5674 \cdot 10^{-10}$	60

يُمثل الجدول (6.IV) الذي يُبين الانتشار الرطوبي الفعال ($m^2/ثا$) للعينات تحت درجات حرارة مختلفة. إنَّ قيم الانتشار الرطوبي للعينات المجففة عند درجات 50 ، 55 و 60 درجة كانت $1.2867 \cdot 10^{-10}$ ، $2.1982 \cdot 10^{-10}$ و $2.5674 \cdot 10^{-10}$ على التوالي. علماً أنَّ مجال معامل الإنتشار الرطوبي لمعظم المنتجات الزراعية (92 %) يتراوح من 10^{-8} إلى $10^{-12} m^2/ثا$ [Fahloul et al., 2009].

كما هو واضح من الجدول (5.IV) أن الإنتشار الرطوبي يميل إلى الزيادة عند زيادة حرارة هواء التجفيف و هذا ما يفسر نقص مدة التجفيف عند زيادة حرارة هواء التجفيف. وجاءت هذه النتائج مقارنة لنتائج (Zhu et al. 2014) و (Azizi et al. 2010).

و لثمين النتائج المتحصل عليها في هذا الجزء الثالث من العمل التجريبي قمنا بالمشاركة في ملتقى: [Lati et al., 2018]

6th Maghreb Seminar on Drying Sciences and Technologies.

4.IV. الجزء الرابع: دراسة تأثير حرارة هواء التجفيف على البطاطس المجففة

1.4.IV المقدمة:

يهدف هذا الجزء من الدراسة معرفة مدى تأثير درجة الحرارة على البطاطس المجففة، و مقارنتها بحالتها قبل التجفيف، بحيث يمكن أن تحدث بعض التغيرات في البطاطس نتيجة لتعرضها للهواء الساخن خلال عملية التجفيف، فممكن أن يتغير اللون مقارنة بحالتها الطازجة، و هذا العامل يمكن ملاحظته من طرف المستهلك مباشرة عند شراء المواء الغذائية و منه يَأثر على التقبل العام لديه. من أجل هذا قمنا ببعض التجارب لمعرفة التأثير الايجابي او السلبي لزيادة حرارة هواء التجفيف على عينات البطاطس المجففة عند 50، 55 و 60 درجة مئوية.

اجريت تجارب الجودة والنوعية في مخبر هندسة الطرائق كلية العلوم التطبيقية بجامعة ورقلة وبالتعاون مع المخبر الجهوي لمراقبة الجودة C.A.C.Q.E بورقلة.

2.4.IV تأثير لون الشرائح المجففة بحرارة هواء التجفيف:

1.2.4.IV الهدف من دراسة اللون بعد التجفيف:

اللون هو أهم الخصائص المحدد لجودة المنتوجات الزراعية والصناعات الغذائية، لأنه يرتبط ارتباطا وثيقا بسلامة الأغذية، و غالبا ما يكون الاعتبار الأول للمستهلكين عند اتخاذ قرار الشراء [Demiray et al., 2014].

2.2.4.IV النظام المستعمل لقياس اللون:

في عام 1931 ادخلت اللجنة الدولية للإضاءة نظام CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) لوصف أي لون سواء كان مرئي أو غير مرئي بالنسبة للعين البشرية. هذا النظام مكون من ثلاثة قيم X و Y و Z وتسمى قيم تريستيمولوس (tristimulus values) لأن أي لون يمكن الحصول من خلال الجمع بين الألوان الأساسية الثلاثة وهي: الأحمر والأزرق والأخضر. لكن وجدت اللجنة الدولية للإضاءة أنه ليس من الممكن دائما حدوث هذا، فأعدت في عام 1976 تعريف النظام عن طريق إدخال مفهوم جديد وهو: L ، a و b ، المستخدم عادة في الصناعات الغذائية [Bhattiprolu, 2004].

3.2.4.IV الجهاز المستعمل لقياس اللون:

لون شرائح البطاطس يمكن تحديده من خلال لون طبقته الخارجية. باستخدام جهاز CHROMA

(Minolta, Japan) METER CR-400 (الشكل - 42.IV) تم حساب البعد اللوني (ΔE) بين البطاطس المجففة والطازجة وفق العلاقة (8-IV).

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad [-] \quad (8-IV)$$

حيث :

L يمثل الإضاءة

○ قيمة 0: تعني مظلم

○ قيمة 100: تعني إنعكاس مثالي

a يمثل التغير من الأخضر إلى الأحمر

○ القيمة السلبية: تعني اللون الأخضر

○ القيمة الإيجابية: تعني اللون الأحمر

b يمثل التغير من الأزرق إلى الأصفر

○ القيمة السلبية: تعني اللون الأزرق

○ القيمة الإيجابية: تعني اللون الأصفر

القيم L_0 ، a_0 و b_0 تمثل قيم العينة المرجعية، في دراستنا العينة المرجعية هي البطاطس الطازجة (ما قبل التجفيف)

ملاحظة : لا يوجد تحدييدات رقميه لقيمة a و b

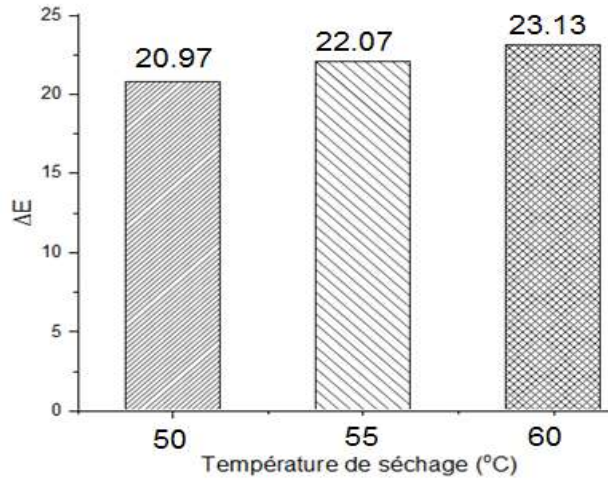


الشكل (42.IV): جهاز قياس اللون

4.2.4.IV التغيرات اللونية للبطاطس المجففة:

تم قياس L ، a و b لشرائح البطاطس المجففة و الطازجة و بالاعتماد على معادلة (IV-8) للبعد اللوني (ΔE)

تم حساب التغيرات اللونية و الممثلة في الشكل (IV. 43)



الشكل (IV. 43): تأثير حرارة التجفيف على التغيرات اللونية للبطاطس المجففة.

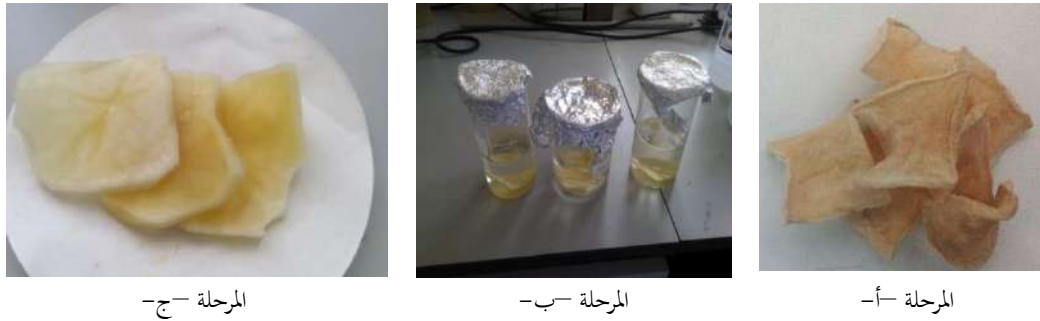
يمثل الشكل (IV. 43) الفروق في اللون التي تم الحصول عليها مع تغير درجات حرارة التجفيف لشرائح البطاطس بالمقارنة بالحالة الطازجة، فنلاحظ ان كلما زادت حرارة هواء من 50، 55 الى 60 درجة زادت أيضا الفروق اللونية من 20.97، 22.07 إلى 23.13. ومنه نستنتج أن لدرجة الحرارة علاقة عكسية مع التغيرات اللونية. لكن هل يمكن ان تزول هذه الفروق في اللون عند إعادة إماهة الشرائح لإستعمالها من جديد طرف المستهلك؟

5.2.4.IV التغيرات اللونية للبطاطس بعد إعادة الإماهة (إرجاع الماء):

هناك العديد من الطرق لإعادة إسترجاع الماء (الفصل الثاني) للمنتجات المجففة، كاستعمال الماء البارد أو الماء الساخن [Bhattiprolu, 2004]، غير أن الماء الساخن إلى درجة الغليان أحسن لأنه عند هذه الدرجة تبدأ عملية الإمتصاص بسرعة و تصل الى أقصاها و لا تسبب الضرر إلى أنسجة المنتج [Hafezi et al., 2015].

تم إجراء عملية إعادة الاماهة للعينات المجففة بمعدل ثلاثة مكررات لكل عينة حيث وضعت العينة المجففة في 200 ملل من الماء المقطر المغلي ($100^{\circ}C$)، غُطي المحتوى بورق الألمنيوم مع الإستمرار في التسخين عند درجة الغليان لمدة إثنتا

عشرة دقيقة ثم يرشح الماء الزائد بواسطة قمع باستعمال ورق ترشيح [Hafezi et al., 2015]. كما هو موضح في الشكل (IV. 44).



المرحلة -ج-

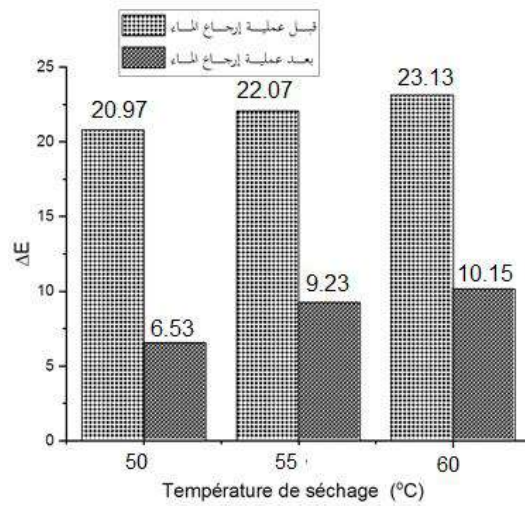
المرحلة -ب-

المرحلة -أ-

الشكل (IV.44): مراحل تجربة إعادة الإماهة.

بعد إعادة إماهة شرائح البطاطس المجففة (50، 55 و 56 درجة) قمنا بقياس التغيرات اللونية و بالإعتماد على

المعادلة (IV-8) و المشروحة سابقا. و كانت النتائج كما هو موضح في الشكل (IV. 45)



الشكل (V. 45): التغيرات اللونية للبطاطس المجففة بعد التشرّب.

الشكل (IV.45) يبين الفروق اللونية للشرائح المجففة بعد إعادة إماهتها مع تغير درجات حرارة التجفيف. من الشكل

نلاحظ إنخفاضاً في الفروق اللونية من "20.97، 22.07، 23.13" إلى "6.53، 9.23، 10.15". غير أننا لم نحصل

على نفس لون البطاطس الطازجة أي فروقاً لونية تؤول إلى الصفرة. و إذا راجع لتضرر جدران خلايا العينات و أدى إلى انكماشها

مما جعل شرائح البطاطس أقل قدرة على امتصاص الماء من جديد بنفس الكمية التي تم انتزاعها بعملية التجفيف [Singh et

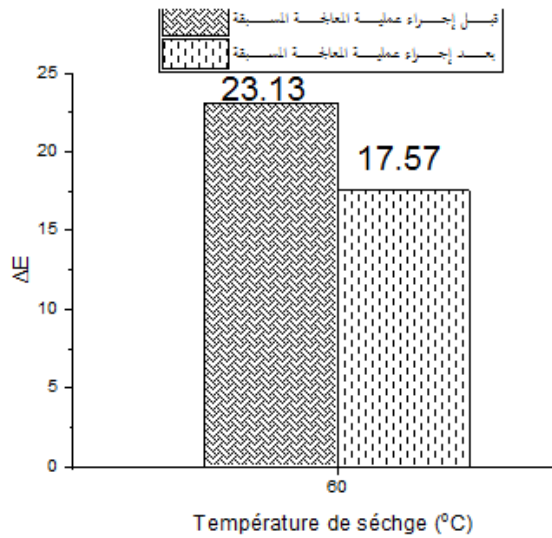
.al., 2011].

اذن لا بد من حدوث تغيرات لونية خلال عملية التجفيف تطراً على المنتج النهائي، فهل يمكن خفض هذه الفروق إلى أقل مستوى لكي لا ينفّر المشتري من المنتجات المجففة؟

6.2.4.IV التغيرات اللونية للبطاطس المعالجة مسبقاً:

إنّ جودة المنتجات المجففة لا يتوقف فقط على عملية التجفيف نفسها ولكنها أيضاً متعلقة بالخطوات المختلفة التي سبقت عملية التجفيف (راجع الفصل الثاني). يوجد العديد من المواد التي يمكن عند إضافتها أن تحسّن من لون المنتج النهائي. و في هذه الدراسة نختار: كلوريد الكالسيوم (CaCl_2) [Ahrné et al.,2003].

تمت عملية المعالجة المسبقة قبل إجراء عملية التجفيف مباشرة، و ذلك بغمس العينات المراد تجفيفها في 500 مل من الماء المقطر ساخن على 70 درجة يحتوي على كلوريد الكالسيوم (CaCl_2) بنسبة 1 % لمدة دقيقتين. ثم يبرد بالماء بعدها يوضع في المجفف [Ahrné et al.,2003]. و بالأعتماد على المعادلة (8-IV) للبعد اللوني (ΔE) قمنا برسم الشكل (46.IV).



الشكل (46.IV): تأثير المعالجة المسبقة على التغير اللوني للبطاطس المجففة عند 60 درجة.

يتضح من النتائج المبينة في الشكل (46.IV) الذي يبين تأثير المعالجة المسبقة على التغير اللوني للبطاطس المجففة عند 60 درجة، أن للمعالجة المسبقة أثر إيجابي في تخفيض التغير اللوني من 23.13 إلى 17.57. ويعود السبب في ذلك إلى انخفاض المحتوى الرطوبي للشرائح حيث أن الماء ينتقل من الشرائح إلى الوسط الخارجي المركز، و بهذا تفقد الشرائح جزء من

رطوبتها فيتقلص زمن التجفيف مقارنة بالشرائح الغير معالجة مسبقا. و يمكن أن يعود السبب في ذلك أن شرائح البطاطس عولجت قبل عملية التجفيف بمحلول ملحي أبطأ من عملية التغيرات اللونية، و ذلك لوجود طبقة من الملح حول البطاطس يمنع التحولات اللونية بواسطة الإنزيمات حيث يعتبر كمادة حافظة للمادة.



ب - $T=55^{\circ}\text{C}$
 $\Delta E=22.07$



أ - $T=50^{\circ}\text{C}$
 $\Delta E=20.79$



ث - $T=60^{\circ}\text{C}$ المعالجة مسبقا
 $\Delta E=17.08$



ت - $T=60^{\circ}\text{C}$
 $\Delta E=23.13$

الشكل (47.V): تأثير حرارة هواء التجفيف (أ، ب و ت) و المعالجة المسبقة (ث) على لون شرائح البطاطس المجففة.

3.4.IV تقدير محتوى السكريات المرجعة:**1.3.4.IV الهدف من تقدير محتوى السكريات المرجعة في العينات المحففة:**

تحديد محتوى السكريات المرجعة و التي تتمثل في الفركتوز و الجلوكوز له أهمية بالغة ، فوجود مستويات عالية من السكريات المرجعة يتسبب في تغير اللون الى السمرة (brunissement) خلال عملية التجفيف ، وبالتالي هو سمة غير مرغوب فيها بالنسبة للمستهلكين.[Chen et al., 2010]

يتم تحديد محتوى السكريات المرجعة (الجلوكوز والفركتوز) في البطاطس بواسطة عدة طرق كيميائية ، و التي منها طريقة برتراند (Bertrand).

2.3.4.IV الأساس العلمي لطريقة برتراند (Bertrand):

طريقة برتراند (Bertrand) هي طريقة حجمية تعتمد في أساسها على حساب حجم المحلول السكري المطلوب لإرجاع حجم معين من محلول النحاس القاعدي، وعند الرجوع إلى الملحق ب- (الجدول ب.1) يمكن معرفة وزن السكريات المرجعة. السكريات المرجعة (الجلوكوز والفركتوز) تحتوي على مجاميع ألدهيدية أو كيتونية (RCHO). وهذه المجاميع الفعالة ترجع أيونات النحاس (Cu^{+2}) عند التسخين في الوسط القاعدي إلى أيونات النحاس (Cu^{+}) أو إلى الحالة المعدنية (Cu) .

3. 3.4.IV الأجهزة و المواد المستخدمة في تجربة برتراند (Bertrand) :

✚ ميزان دقيق

✚ هاون لسحق العينات

✚ اربعة دوارق زجاجية سعة 250 مل و حوجلة بسعة 300مل.

✚ ماء مقطر

✚ مسخن كهربائي

✚ ورق ترشيح بالإضافة لقمع بوشنر مزود بمخضبة

✚ سحاحة

✚ محلول خلات الرصاص "acétate de plomb" (10%)

✚ محلول برمنغنات البوتاسيوم ($KMnO_4$)

4.3.4.IV تحضير محاليل فهلينج [Kolusheva et al., 2011]:

محلول فهلينج A: وزن 34.639 غ من مادة كبريتات النحاس ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ونذيبها في دورق زجاجي و نكمل الماء إلى 500 مل .

محلول فهلينج B: وزن 173 غ من ملح طرطرات البوتاسيوم و الصوديوم "tartrate de potassium sodium" ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) و بالإضافة إلى 51.6 غ من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) و نذيبها في دورق زجاجي و نكمل الماء إلى حجم 500 مل .

محلول فهلينج C: وزن 25 غ من كبريتات الحديد "Sulfate Ferrique" ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) و بالإضافة إلى 65 ملل من حمض الكبريت (H_2SO_4) و نذيبها في دورق زجاجي و نكمل الماء إلى حجم 500 مل.

5.3.4.IV مراحل تجربة برتراند (Bertrand):

أجريت تجربة تحديد محتوى السكريات المرجعة في المخبر الجهوي لمراقبة الجودة بورقلة. وفق المراحل التالية: [Chandraju et al., 2014].

أ- مرحلة تحضير محلول البطاطس:

تم وزن وسحق غرام من العينة الطازجة وكذلك من العينات الثلاث المجففة (50، 55 و 60 درجة)، كما هو موضح في الشكل (48.IV).



الشكل (48.IV): سحق العينات أ- الطازجة، ب- الجافة.

تم إذابة العينات المسحوقة (الطازجة و المجففة) في أربعة دوارق زجاجية بما 200 مل من الماء المقطر الفاتر، نضيف للمحتوى

5 ملل من خلات الرصاص (10%) و كمية من كبريتات الصوديوم (Na_2SO_3)



الشكل (49.IV): تحضير محلول البطاطس

نحرك المحلول مع التسخين لمدة 10 مع إضافة الماء للتعويض عن المفقود بالتبخير. نبرد المزيج وبواسطة ورق ترشيح نرشح المحتوى.



الشكل (50.IV): ترشيح محلول البطاطس.

ب- مرحلة إرجاع أيونات النحاس (Cu^{+2}) لتكوين راسب أكسيد النحاس (الأحمر الأجوري) (Cu_2O)

نأخذ 20 مل من المحلول المرشح ونضعه في حوجلة سعة 300 مل بالإضافة الى 20 مل من محلول فهلينج "A" و 20 مل من

محلول فهلينج "B". نسخن المحتوى إلى درجة الغليان لمدة ثلاثة دقائق.



الشكل (IV. 51): تسخين محلول البطاطس.

بعد ثلاثة دقائق من التسخين نبرد المحتوى فوراً بالماء بدون تحريك فنلاحظ تشكل راسب أكسيد النحاس (Cu_2O)

الأحمر الآجوري، كما هو ملاحظ في أسفل الحوجلة (الشكل IV. 52).



الشكل (IV. 52): تشكل راسب أكسيد النحاس (Cu_2O).

ت- مرحلة فصل راسب أكسيد النحاس (Cu_2O) بعملية الترشيح و غسله:

يرشح المحلول بواسطة قمع بوشنر مزود بمخضبة لتسريع عملية الترشيح لفصل أكسيد النحاس (Cu_2O)



الشكل (53.IV): ترشيح راسب أكسيد النحاس.

نغسل أكسيد النحاس المتحصل عليه بعد الترشيح بـ 20 مل من الماء البارد ثلاث مرات، ثم نعيد عملية الترشيح مرة أخرى لإزالة الماء المقطر.

ث -مرحلة إذابة راسب أكسيد النحاس (Cu_2O) بفائض من $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ في وسط حمضي

نذيب أكسيد النحاس في 30 ملل من محلول في 20 مل من محلول فـهـلـيـنـج "C" ونعيد ترشيح المحلول و غسله خمسة مرات بالماء المقطر.

ج-مرحلة معايرة الحديد (Fe^{+2}) المتشكل بواسطة برمنغنات البوتاسيوم (KMnO_4) في وسط حمضي

■ أملاً السحاحة بـ 50 مل برمنغنات البوتاسيوم (KMnO_4). لاحظ بأن نهاية السحاحة المدببة يجب أن فوق

الحوجلة لتجنب ضياع كمية من برمنغنات البوتاسيوم.

■ إفتح السحاحة قليلاً لتزول محلول برمنغنات البوتاسيوم (KMnO_4) و عند تغير اللون من الأخضر إلى الوردي

عندها يجب إيقاف عملية التسحيح.



الشكل (54.IV): معايرة الحديد (Fe^{+2}) المتشكل بواسطة برمنغنات البوتاسيوم ($KMnO_4$)

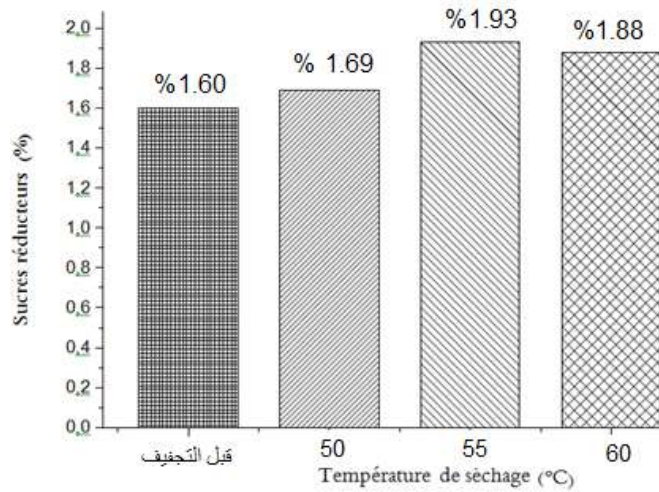
6.3.4.IV نتائج معاينة السكريات المرجعة:

حسبت كمية السكريات المرجعة وفق المعادلة التالية:

$$\text{السكريات المرجعة} = (X / \text{وزن العينة}) \cdot 100 \quad [\%] \quad (9-IV)$$

X : كتلة السريات الموافقة لحجم برمنغنات البوتاسيوم ($KMnO_4$) تقرأ من جدول برتراند (Bertrand) المبين

في الملحق ب



الشكل (55.IV): تأثير حرارة التجفيف على نسبة السكريات المرجعة.

بينت نتائج الشكل (55.IV) تأثير زيادة درجة حرارة هواء التجفيف من 50 ، 55 الى 60 درجة على النسبة المئوية للسكريات المرجعة للبطاطس بالنسبة ، حيث يلاحظ أن درجة هواء التجفيف لها تأثير ملحوظ في زيادة نسبة السكريات المرجعة إذ ارتفعت من 1.69 % عند 50 درجة الى 1.93 % عند 55 درجة و 1.88 % عند 60 درجة، غير ان التجفيف بدرجة 50 درجة يلاحظ زيادة طفيفة تقدر ب 0.09 % بالمقارنة بالحالة الطازجة التي كانت 1.60 %

إذن يمكن القول أن ارتفاع الفروق اللونية سببها زيادة نسبة السكريات المرجعة في سطح الشرائح. فالمحتوى المنخفض للسكريات المرجعة مطلوب للحد من تطور اللون خلال تجفيف البطاطس. والفروق اللونية تحدث بسبب الحرارة المرتفعة نسبيا ولكن يمكن خفضها بواسطة المعالجة الأولية قبل التجفيف.

4.4.IV تأثير التقييم الحسي للبطاطس المجففة بحرارة هواء التجفيف:

أُجري التقييم الحسي لعينات البطاطس المجففة بعد طبخها. أُجريت الاختبارات الحسية من قبل لجنة متكونة من سبعة طلبة من جامعة ورقلة [Fahloul et al., 2009]. تم استخدام مقياس هيدونيك (Hedonic) من خمس نقاط لتقييم العينات وفق درجات التقييم الممثلة في الجدول (7.IV).

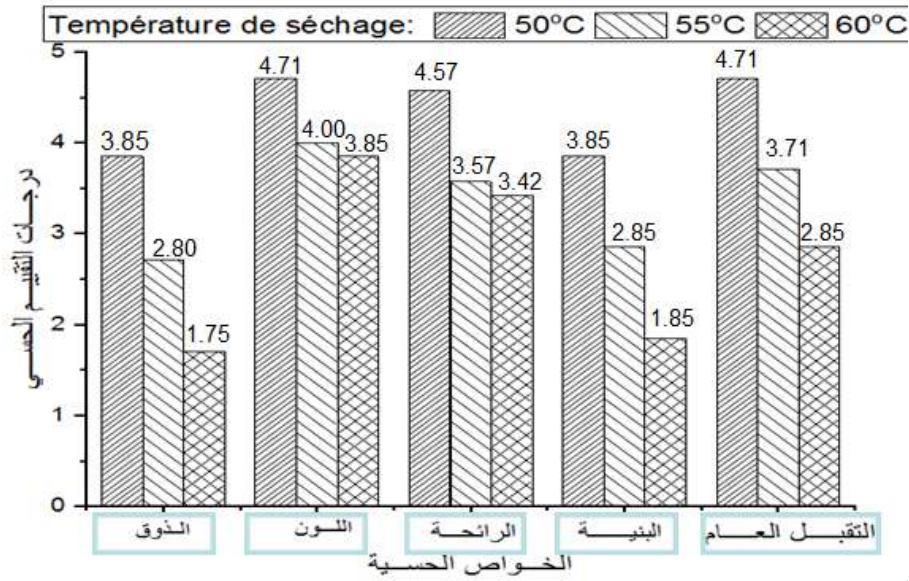
الجدول (7. IV): درجات التقييم الحسي وفق مقياس هيدونيك (Hedonic)

الدرجة	الصفة
5	ممتاز: نفس صفة البطاطس الطازجة
4	جد مقبول: قريبة جدا من صفة البطاطس الطازجة
3	مقبول: تشبه صفة البطاطس الطازجة
2	غير مقبول: لا تشبه صفة البطاطس الطازجة
1	منفرة: لا تشبه إطلاقا صفة البطاطس الطازجة

قيمت العينات حسب المعايير التالية: الذوق ، اللون، الرائحة، البنية [Rahman, 2007] و بالإضافة التقبل العام بالمقارنة بالبطاطس الطازجة [Abdulla et al., 2014]، وهذا وفق استمارة التقييم الحسي المعدة لهذا الغرض (الجدول 8.IV).

الجدول (8.IV): نموذج إستمارة التقييم الحسي لشرائح البطاطس المجففة

العينة	الذوق	اللون	الرائحة	البنية	التقبل العام
50°C					
55°C					
60°C					



الشكل (56.V): التغيرات في الصفات الحسية للعينات الجافة بالمقارنة بحالتها الطازجة.

يبين الشكل (56.V) التغيرات في الصفات الحسية للعينات الجافة بالمقارنة بحالتها الطازجة بتغير درجات حرارة

هواء التجفيف. و أظهرت النتائج وجود واضحة لتأثير زيادة حرارة في الصفات الحسية حيث انخفضت درجات التقييم لكل

الصفات الحسية المدروسة مع زيادة درجات حرارة التجفيف من 50، 55 الى 60 درجة.

لم تلاحظ اللجنة فروق لونية كبيرة '4.71' بالنسبة للبطاطس المجففة عند 50 درجة بينما لا حظت اختلاف

لوني واضح بالنسبة للبطاطس المجففة عند درجة حرارة 55 و 60 درجة بمقدار 3.85، ويعود السبب في ذلك الى حدوث

تفاعل بين السكريات المرجعة والأحماض الأمينية مما أدى إلى سواد "إسمرار" المنتجات المجففة ذات الألوان الفاتحة [Rahman,

2007]. كما هو موضح سابقا لاحظنا زيادة معتبرة في نسبة السكريات المرجعة عند حرارة 55 و 60 درجة

1.93% و 1.88% على التوالي ، فيما كانت نسبتها 1.69% عند 50 درجة قريبة جد من نسبة البطاطس الطازجة

1.60%.

كما لم تلاحظ اللجنة فرق جلية '4.57' في رائحة البطاطس المجففة عند 50 درجة بالمقارنة بالطازجة، أما

عند زيادة درجة حرارة التجفيف إلى 55 درجة فلاحظت اللجنة فرق في درجة التقييم بمقدار 3.57 وزاد هذا الفرق برفع درجة

حرارة التجفيف إلى 60 درجة فارتفع الفرق قليلا في درجة التقييم الى 3.42. يعود السبب في الرائحة المميزة للبطاطس المجففة

لمركبات الرائحة ذاتها الموجودة في البطاطس الطازجة و تتضمن الليبيدات و التي قد تتغير خلال معاملتها بالحرارة إلى مركبات أخرى

التي تعطي رائحة مخلفة عن رائحة الأصلية للبطاطس الطازجة. حيث يعد المركبان 3-ايزوبوتيل-2-ميتوكسي بيرازين و3،2-ثنائي ايثيل-5-ميثيل بيرازين المادتين المسؤولتين على الرائحة المميزة للبطاطس الطازجة [كلاوي وآخرون، 2010]. و جاءت هذه النتائج متوافقة مع ما ذكره Rahman (2007) أن من المشاكل الرئيسية لعملية تجفيف الأغذية فقداها لرائحتها وذلك عن طريق تحفيز أكسدة الليبيدات.

بالنسبة لبنية الشرائح 'الملمس' فإنخفاض تقييم اللحنة للشرائح من 3.85، 2.85 إلى 1.85 و ذلك عند زيادة هواء التجفيف من 50، 55 إلى 60 درجة، و ذلك لتأثر جدران الخلايا النشوية للبطاطس بسرعة خروج الماء منها. فكما هو مبين في الجزء الثالث من هذا الفصل أنه كلما زادت حرارة هواء التجفيف زادت كذلك سرعة خروج الماء من خلايا المادة المجففة و هذا ما يآثر سلبياً على شكل الخلايا فلاحظت اللحنة ملمساً مختلف بالمقارنة بالعينات الطازجة.

أما بالنسبة لصفة التقبل العام فأبدت اللحنة قبول شبه تام '4.71' للبطاطس المجففة عند 50 درجة و رأيت أن لها تقريبا نفس خصائص البطاطس الطازجة، أما بالنسبة للعينات المجففة عند 55 و 60 درجة فأبدت اللحنة تحفظاً وكانت درجات التقييم: 3.71 بالنسبة للشرائح المجففة عند 55 درجة و 2.85 للمجففة عند 60 درجة. و يمكن ان يعود لتكون نكهة، رائحة، و مركبات لونية مميزة في الأطعمة خلال تعرضها للحرارة العالية [Nie et al., 2013].

وجدت لجنة التقييم وجود فروق في الذوق بين العينات المجففة و العينة الطازجة حيث زادت هذه الفروق بزيادة درجات حرارة التجفيف، حيث انخفضت درجة التقييم من 3.85 الى 1.75. و يمكن أن يعود السبب في ذلك لتأثر الحموضة بزيادة درجة حرارة هواء التجفيف.

5.4.IV تأثير الحموضة بحرارة هواء التجفيف:

حموضة المواد الغذائية عادة ما يتم قياسها باستخدام جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (pH-mètres) و المعايرة. جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (pH-mètres) يستعمل لقياس درجة الحموضة، أما المعايرة فتسمح لنا بقياس المحتوى الحمضي للمواد الغذائية [Guide METTLER –TOLEDO, 2012].

1.5.4.IV تأثير الرقم الهيدروجيني (pH) بحرارة هواء التجفيف:

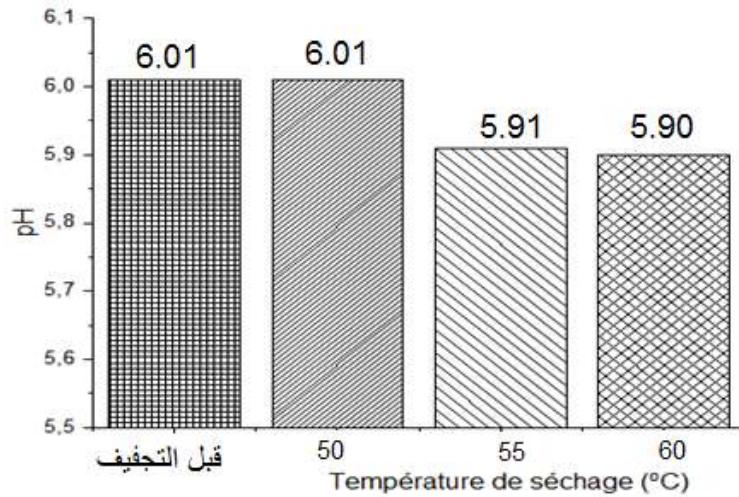
الرقم الهيدروجيني (pH) هو رمز لتركيز أيون الهيدروجين و هو عامل مهم في تنظيم العديد من التفاعلات الكيميائية، البيوكيميائية و الميكروبيولوجية. حيث يتغير من 1 إلى 14، حيث تعبر القيم المنخفضة (من 1 إلى 7) على الصفة الحمضية، و القيم المرتفعة (من 7 إلى 14) تعبر على الصفة القاعدية أو القلوية، أما الرقم 7 فيدل على تعادل الحموضة والقاعدة. يمكن تمييز الفرق بينهما عن طريق حاسية التذوق، فالأغذية ذات رقم هيدروجيني بين 1 الى 7 تعطي طعم حامض، أما تلك التي بين 7 إلى 14 فتعطي طعم مر. الفواكه لديها قيم درجة حموضة (pH) منخفضة مما يجعل معظم البكتيريا لا تنمو و تحافظ على جودتها، أما الخضرا فدرجة حموضتها عالية نسبيا و أكثر عرضة للتلف البكتيريا [Rahman, 2007].

تم إذابة 4 غ من البطاطس المسحوقة لمختلف العينات الجافة و العينة الطازجة في بيشر به 200 ملل ماء مقطر، ثم بواسطة جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (pH-mètres) نوع « HANNA » نقيس قيمة الرقم الهيدروجيني كما موضح في الشكل (IV. 57).



الشكل (IV. 57): تجربة قياس الرقم الهيدروجيني.

و النتائج المتحصل عليها موضحة في الشكل (58.IV).



الشكل (58.IV): تأثير حرارة هواء التجفيف على pH البطاطس.

الشكل (58.IV) يمثل تأثير حرارة هواء التجفيف على الرقم الهيدروجيني (pH) للبطاطس المجففة بالمقارنة بحالتها الطازجة، حيث يلاحظ من الشكل (58.IV) هبوط لقيمة الرقم الهيدروجيني (pH) من 6.01 ، 5.91 الى 5.90 الموافقة لدرجات الحرارة 50، 55 و 60 على التوالي، بينما سجلنا نفس قيمة pH عند التجفيف بدرجة 50 و البطاطس الطازجة فيمكن القول ان التجفيف بدرجة 50 درجة تعبر القيمة المثلى للحفاظ على ال pH. من الشكل (58.IV) نستنتج ان لزيادة حرارة هواء التجفيف أثر سلبي على الرقم الهيدروجيني (pH) للبطاطس.

إذن يمكن تفسير سبب الذوق المميز للبطاطس المجفف إلى تأثر الحموضة بزيادة درجة الحرارة حيث كلما زادت الحرارة أصبحت العينات أكثر حموضة و هذا ما يفسر نقص درجات تقييم الذوق بزيادة حرارة هواء التجفيف.

2.5.4.IV تأثير المحتوى الحمضي بدرجة حرارة هواء التجفيف:

مستوى الحموضة من المعايير المهمة في قطاع التغذية. الحموضة لا يقتصر تأثيرها على الطعم فقط، ولكن يمتد تأثيرها أيضا على قدرة تطور الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والفطريات. فالأغذية الأكثر حمضية هي اقل خطر لتطور الكائنات الحية الدقيقة. وقد أستخدمت الأحماض منذ العصور القديمة للحفاظ على الغذاء [Guide Mettler –Toledo, 2012]. و من أهم منظمات الحموضة التي يتم استخدامها في الإنتاج الغذائي هو: حمض الستريك "acide citrique".

تم تحديد مستوى حمض الستريك وفق الطريقة اللونية للمعايير الفرنسية (AFNOR, NF V05-101) (1974). وزن 25 غرام من البطاطس المسحوقة و نضعها في حوجلة بما 50 مل من الماء المقطر المغلي ثم نخلط جيدا حتى الحصول على سائل متجانس. نسخن السائل لمدة 30 دقيقة ثم نبرده. نحول السائل إلى حوجلة بسعة 250 مل و نكمل الحجم المتبقي بالماء المقطر. ثم نقوم بترشح المحلول

نأخذ 25 مل من السائل ونضعها في بيشر سعة 250 مل و نضيف له قطرتين من فينول فتالين "Phénophtaléine" ونحرك جيدا، نقوم بالمعايرة بواسطة هيدروكسيد الصوديوم (N0.1) حتى الحصول على اللون الوردي.



المرحلة -ج-



المرحلة -ب-



المرحلة -أ-

الشكل (IV.59): مراحل تجربة معايرة الحموضة.

يعبر على مستوى حمض الستريك بغرام لكل 100 غرام من المادة الجافة و تحسب بالعلاقة (IV-10) [Benyagoub et al., 2011]:

$$A \% = \frac{(250 \times V_1 \times 100)}{(V_0 \times M \times 10)} \times 0.07 = 175 \frac{V_1}{V_0 \times M} \quad (10-IV)$$

حيث:

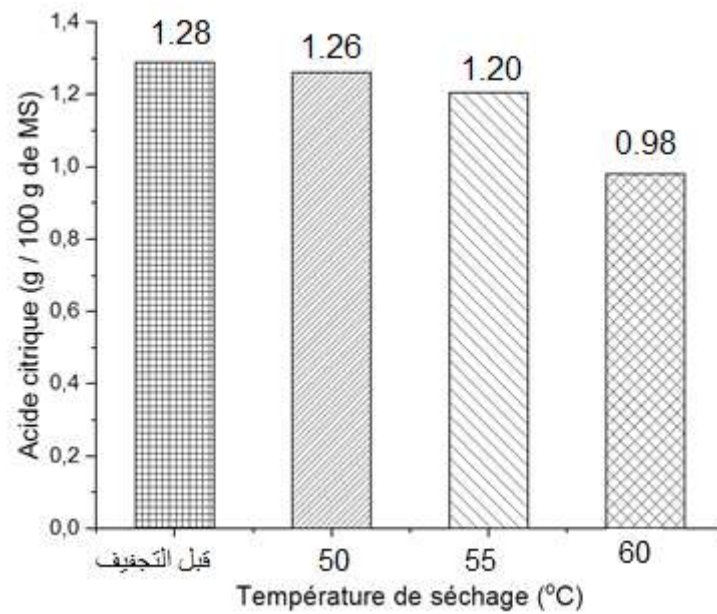
- V_1 : حجم هيدروكسيد الصوديوم (N0.1)
- V_0 : حجم العينة
- m : وزن العينة

الجدول (IV.9) يلخص النتائج المتحصل عليها من عملية معايرة محلول البطاطس الطازجة و المجففة بواسطة هيدروكسيد الصوديوم.

الجدول (9.IV): حجم هيدروكسيد الصوديوم المستعمل في المعايرة

العينة	حجم هيدروكسيد الصوديوم (مل)
الطازجة	4.6
50°C	4.5
55°C	4.3
60°C	3.5

بالإعتماد على المعادلة (10-IV) نقوم بحساب مستوى حمض الستريك كما هو موضح في الشكل (50.IV).



الشكل (60.IV): تأثير حرارة التجفيف على مستوى حموضة الستريك في البطاطس.

يلاحظ من الشكل (60.IV) الذي يبين العلاقة محتوى حمض الستريك (غرام لكل 100 غرام من المادة الجافة) وحرارة هواء التجفيف، أنّ المحتوى الحمضي قد انخفض مع زيادة حرارة التجفيف. بزيادة حرارة هواء التجفيف من 50 ، 55 إلى 60 درجة انخفض المحتوى الحمضي من 1.26، 1.20 إلى 0.98 غرام لكل 100 غرام من المادة الجافة على التوالي، بينما كان 1.28 غرام لكل 100 غرام من المادة الجافة بالنسبة للعينة الطازجة. و يعود هذا الانخفاض في محتوى حمض الستريك بزيادة حرارة هواء التجفيف إلى الحساسية الكبيرة للأحماض تجاه الحرارة.

و بملاحظة نتائج الشكل (60.IV) يمكن تفسير تغير اللون للّبني (الإسمر) إلى نقص حمض الستريك الذي له

دور فعال في منع تحول اللون عند تعرض الشرائح للهواء الساخن [اشتية و آخرون، 2010].

5.IV. الجزء الخامس: الدراسة الاقتصادية

1.5.IV هدف الدراسة الاقتصادية:

يهدف هذا الجزء من العمل التطبيقي لإجراء دراسة تقريبية للكلفة المالية لعملية تجفيف كيلوغرام من البطاطس و مقارنتها بكلفة الحفظ بالتبريد، جميع المواد المكونة للمجفف الشمسي تتركز على الأسعار في الأسواق العالمية والمحلية. يتأثر النمط الاقتصادي على عدم الاستقرار في التحويلات المادية على مدار الزمن، وحتى نجد نموذج تقريبي الذي من خلاله نقرب الصورة الواقعية يجب الأخذ بالحسبان مجموعة العوامل التي تدخل في حساب التكلفة التقريبية للبطاطس المجففة عن طريق المجفف الشمسي المجهز.

2.5.IV سعة التجفيف:

أبعاد طبق التجفيف 0.83 طول و 0.45 عرض و هي أقل بقليل من الأبعاد الداخلية لغرفة التجفيف وهي : 0,86 طول و 0,5 م عرض و هذا لتجنب إحتكاك طبق التجفيف بالجدران الداخلية لغرفة التجفيف و بالتالي بالتالي تتم عملية متابعة وزن العينات المجففة بكل دقة. فنحصل على مساحة 0,37 م² للتجفيف ، وعند توزيع الشرائح على مساحة طبق التجفيف بسمك 0.5 سم للشرائح نحصل على وزن 1.1 كلغ بعدد شرائح حوالي 110 شريحة في الطبق و بوزن يقدر بحوالي 10 غ للشريحة الواحدة. فيما يحتوي المجفف على عشر أطباق للتجفيف فيكون الوزن الإجمالي 11 كلغ عند كل عملية، و يمكن حساب كمية المادة المجففة مدة خلال مدة زمنية معينة بالعلاقة (IV-11).

$$(11-IV) \quad m_{A,S} = \sum_{i=1}^{i=n} m_{T,S}$$

3.5.IV أسعار المواد المستخدمة في تصنيع المجفف الشمسي:

لحساب تكلفة المادية للمجفف يجب معرفة سعر كل عنصر داخل في تركيبه. و الجدول (10.IV) يبين أسعار المواد المستخدمة في غرفة التجفيف و اللاقط الشمسي و التي تم حسابها بناء على السعر المتداول في السوق المحلية بشكل تقريبي .

الجدول (10.IV) : أسعار المواد الداخلة في تركيب المجفف الشمسي الهجين حسب أسعار السوق المحلية.

المواد المستخدمة	سعر الوحدة (دينار جزائري)	سعر المتر الواحد (دينار جزائري)
صفيحة الألمنيوم مساحة 2 م ²	10000.00	5000.00
صفيحة الحديد 'قالفانيز' مساحة 2 م ²	2300.00	1150.00
الزجاج مساحة 1 م ²	1000.00	1000.00
الصوف الزجاجي مساحة 20 م ²	10000.00	500.00
الدعائم الحديدية نوع 'L' بطول 6م	1500,00	250.00
مروحة	2400.00	2400.00
مقاومة كهربائية	1000.00	1000.00
منظم الحرارة	1200.00	1200.00

4.5.IV التكلفة الإجمالية السنوية للتجفيف:

لتقدير التكلفة الإجمالية للمجفف الشمسي الهجين كما هو مفصل في الجزء الأول من العمل التجريبي و الشكلين (IV. 1 و 2).

تعطى العلاقة (12-IV) المعبرة عن تكلفة الجهاز السنوية. [Zerrouki et al., 2015]

التكلفة الإجمالية السنوية (CAT) = تكلفة الاستثمار السنوية (CAI) + تكلفة الصيانة والاستغلال السنوية (CAME) - القيمة الاستهلاكية السنوية (VAA) (12-IV)

1.4.5.IV التكلفة السنوية للاستثمار (CAI):

ليكن CC عبارة عن التكلفة المادية للجهاز، و FRC يعبر عن معامل انتعاش رأس المال، وعليه تحسب التكلفة السنوية للاستثمار بالعبارة التالية:

$$CAI = CC \cdot FRC \quad (13-IV)$$

حيث يكتب FRC بالعبارة التالية:

$$FRC = \frac{r(1+rent)^n}{(1+rernt)^{n-1}} \quad (14-IV)$$

ويعمل:

♣ n: المدة الافتراضية لحياة الجهاز و تقدر بحوالي 15 سنة.

♣ rent: نسبة الفائدة البنكية، و هي في حدود 5%

2.4.5.IV تكلفة الصيانة والاستغلال السنوية (CAME)

لحفاظ على الأداء الجيد للمجفف الشمسي ينصح بتنقية اللاقط دوريا أو كل صباحا خاصة الزجاج و الماص الحراري من الغبار الذي يكثر في المناطق الجافة و الصحراوية. تراكم الغبار على مستوى الزجاج يعيق نفاذ الأشعة الشمسية، أما على مستوى الماص الحراري فالغبار فينقص من كمية الحرارة الممتصة و بذلك يآثر سلبا على المردود الطاقوي لللاقط الشمسي مما ينقص من مساهمة الطاقة الحرارية لتسخين هواء التجفيف كما هو مبين في الجزء الثاني من هذا العمل التجريبي. و كذلك تنقية غرفة التجفيف من بقايا المنتج و الحشرات و يستحسن غسل أطباق التجفيف بمادة معقمة لكي لا تتكاثر الميكروبات و تآثر على سلامة المنتج المجفف.

و من العوامل التي تتأثر بالزمن الطلاء الأسود الغير اللامع (noire mate) المستعمل على مستوى الماص الحراري الذي بدوره يجدد دوريا. والزجاج كذلك يتأثر بتقلبات الجو من برودة و سخونة و يمكن ان ينكسر و يُستبدل و الأجهزة الكهربائية من مروحة و مقاومة و جهاز ضبط الحرارة يمكن أن تعطل وتستبدل.

و عليه تكلفة الصيانة يمكن اعتبارها كنسبة 5% من التكلفة المادية للجهاز. ومع ذلك فهي ليست عالية كثيرا. أما كلفة الاستغلال السنوي للجهاز فتتمثل في فاتورة الكهرباء المستهلكة لتسخين الهواء و كذلك الكمية المستهلكة من طرف المروحة لضمان حركة الهواء المستمرة خلال عملية التجفيف.

3.4.5.IV القيمة الاستهلاكية السنوية (VAA):

ليكن S القيمة الاستهلاكية للمجفف ويمكن اعتبارها كنسبة تكلفة المواد المستعملة وتقدر ب 15% ، بينما تكتب قيمة

الاستهلاك السنوي بالعبارة التالية:

(15-IV)

$$VAA=S \times FAF$$

حيث FAF يمثل معامل الاستهلاك الأساسي ويعطى بالعلاقة التالية:

$$FAF = \frac{rent}{(1+rent)^{n-1}} \quad (16-IV)$$

الجدول (11.IV): التكلفة المادية للمجفف الشمسي المحجّن.

المواد المستخدمة	المساحة (م ²)	سعر المتر الواحد (دج)	التكلفة (دج)
الألمنيوم	2.5	5000.00	12500.00
الحديد 'قالفانيز'	23.1	1150.00	26565.00
الزجاج	2.5	1000.00	2500.00
الصوف الزجاجي	18.2	500.00	9100.00
الدعائم الحديدية نوع 'L'	47	250.00	11750.00
مروحة	-	2400.00	2400.00
مقاومة كهربائية	-	1000.00	1000.00
منظم الحرارة	-	1200.00	1200.00
المجموع	-	-	6701500
اليد العاملة بالإضافة للحمّام	-	-	15000.00
التكلفة المادية للمجفف	-	-	82015.00

من الجدول (11.IV) يتبين أن الكلفة المادية لجهاز التجفيف تقدر بـ 82015 دينار جزائري. غير لأن هذه التكلفة تزداد و ينقص حسب سعر المواد المستخدمة في تركيبه.

5.5.IV تكلفة تجفيف كيلوغرام من البطاطس:

تُحسب تكلفة الوحدة (C_u) 'كيلوغرام' من البطاطس المجففة بالعلاقة التالية:

$$C_u = \frac{CAT}{m_{A,S}} \quad (17-IV)$$

الجدول (12.IV) حساب تكلفة تجفيف كيلوغرام من البطاطس.

تكلفة المجفف الشمسي المجين	82015.00 دج
التكلفة السنوية للاستثمار	7906.24 دج
تكلفة السنوية لاستهلاك الكهرباء	16782.70 دج
تكلفة الصيانة و الاستغلال السنوية	20883.45 دج
القيمة الاستهلاكية السنوية	570.08 دج
التكلفة الإجمالية السنوية	28219.61 دج
سعة التجفيف الإجمالية	4015 كغ
تكلفة الوحدة 'كيلوغرام'	7.02 دج

من خلال النتائج المدونة في الجدول (12.IV) يتبين لنا أن سعر تجفيف كيلوغرام واحد من البطاطس يتطلب

7.02 دج أما القنطار فيتطلب 702 دج.

على حسب الاعتبارات السابقة حينما نقارن تكلفة تجفيف قنطار من البطاطس المجففة عن طريق الطاقة الشمسية مع

مثيلتها من التقنيات التي تستعمل الطاقة الكهربائية الملوثة للبيئة، نجد بأن سعر تجفيف قنطار يتطلب 702 دج ، بينما يتراوح

سعر تخزين قنطار من البطاطس حوالي 300 دج شهريا، فنلاحظ أن سعر تجفيف قنطار يوافق تقريبا سعر تخزينه شهرين و عشرة

أيام و غالبا ما يتم التخزين أكثر من هذه المدة.

6.5.IV العوامل المساهمة في خفض تكلفة التجفيف:

يوجد العديد من العوامل التي يمكن أن تخفض من سعر وحدة التجفيف نذكر منها:

○ زيادة سمك الشرائح يؤدي إلى زيادة زمن التجفيف كما هو مثبت في دراسة Zhu et al. (2014) و لكنه يزيد من

سعة التجفيف الإجمالية فيؤدي إلى خفض سعر التجفيف. يمكن استعمال هذه الطريقة خلال فصل الصيف حيث

تصل ساعات الإشعاع الشمسي اليومي إلى حوالي 14 ساعة أو أكثر، بينما لا ينصح بزيادة سمك الشرائح المجففة

خلال فصل الشتاء حينها تنخفض ساعات التجفيف.

- فزيادة المدة المقترضة لحياة المواد المستعملة في التركيب ينقص معامل انتعاش رأس المال 'FRC' و يزداد معامل الاستهلاك الأساسي 'FAF' مما يؤدي إلى خفض سعر التجفيف.
- إستعمال الخلايا الكهروضوئية كما في دراسة شويشة و آخرون (2013) فهو يزيد التكلفة المادية للمجفف 'CC'، و لكنه يخفض كثيرا من التكلفة السنوية لإستهلاك الكهرباء المستعملة في تسخين الهواء، و كذلك يمكن تشغيل المروحة بواسطة الطاقة الشمسية النظيفة و الغير ملوثة و بالتالي يكمن الإستغناء تماما عن الطاقة الكهربائية، فنحصل على منتج مجفف بأقل تكلفة.
- يمكن استبدال العازل المصنوع من الصوف الزجاجي بأخر أقل كلفة مثل: البولي ستيران و البولي بروبيلان أو بعوازل محلية طبيعية مثل: ألياف وخشب (كرناف) النخيل و الجبس [Nadir et al., 2019] مما ينقص من التكلفة المادية للمجفف 'CC' وبالتالي تنخفض تكلفة الكيلوغرام من البطاطس المجففة.
- خلال فصل الصيف تزداد الاشعة الشمسية مما يؤدي الى زيادة مساهمة الطاقة الشمسية في تسخين الهواء و يمكن في بعض الاحيان الاستغناء كليا عن الطاقة الكهربائية مما يؤدي الى خفض كلفة التجفيف، على عكس فصل الشتاء أين تنقص الاشعة الشمسية و تؤدي الى نقص مساهمتها في تسخين هواء التجفيف [Boughali et al., 2009] فيزداد سعر التجفيف.
- يمكن استبدال اللحام بمثبتات معدنية مثل: البرشام 'rivets' فكما هو معروف سعر اللحام مرتفع مقبل المثبتات المعدنية مما ينقص من التكلفة المادية للمجفف 'CC' وبالتالي تنخفض تكلفة الكيلوغرام من البطاطس المجففة.

الخاتمة و التوصيات

الخاتمة

تمت هذه الدراسة من أجل تبيين الفائض من محصول بطاطس ولاية منطقة الوادي بطريقة التجفيف الشمسي. علما أنَّ ولاية الوادي سنة 2013 احتلت المرتبة الأولى وطنيا من حيث الإنتاج، و بسبب الحرارة الكبيرة خاصة صيفا و نقص غرف التبريد في المنطقة يتلف جزء من محصول البطاطس. و النتائج كانت كالتالي:

- جزء تحسين المردود الطاقوي للاقط الشمسي:

أظهرت النتائج التجريبية لدراسة أداء اللاقط الشمسي أن:

- جميع اللواقط المزودة بطبقة رقيقة من رمل الكثبان لديها درجات حرارة أعلى من تلك التي لا تحتوي على الرمل.
- بالنسبة لسماك ثابت سمك طبقة الرمل ، فإن التحسين يتناسب عكسيا مع أقطار حبيبات الرمل.
- بالنسبة لدرجة حرارة الهواء الخارجة من اللاقط المزود بحبيبات رمل ذات أقطار ثابتة فتزيد مع سمك طبقة الرمل المثبت على مستوى الصفيحة الماصة.

عند إضافة طبقة الرمل بسماك طبقة و قطر حبيبات الرمل المدروس سابقا على مستوى الصفيحة الماصة للاقط الشمسي المزود به المحفّف الهجين (شمسي - كهربائي) غير المباشر، تنخفض نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة من (43.53، 45.01، 45.24)% إلى (26.45، 27.48، 30.76)% و هذا عند التجفيف وفق درجات الحرارة 50 ، 55 و 60 درجة.

- جزء نمذجة حركية التجفيف:

تظهر نتائج النمذجة التي أجريت بواسطة برنامج Curve Expert أن نموذج Kucuk و Midilli هو النموذج الأنسب لوصف عملية تجفيف البطاطا في مجال درجات الحرارة 50، 55 الى 60 درجة مئوية. كما أنَّ معامل الانتشار الفعّال للعينات المجففة يزداد بزيادة درجة حرارة هواء التجفيف من $1.2867 \cdot 10^{-10}$ الى $2.5674 \cdot 10^{-10}$ م²/ثا و هذا عند تغيير درجة حرارة هواء التجفيف من 50 إلى 60 درجة مئوية.

- جزء تأثير حرارة هواء التجفيف على البطاطس المجففة :

تشير النتائج المتحصل عليها إلى أن التجفيف بدرجة حرارة هواء أكثر من 50 يؤدي إلى تدهور نوعية شرائح البطاطس المجففة ، حيث أظهرت النتائج أن :

➤ زادت الفروق اللونية للعينات المجففة من 20.97، 22.07 إلى 23.13 بالمقارنة بالبطاطس الطازجة و ذلك عند زيادة حرارة هواء التجفيف من 50، 55 إلى 60 درجة. و السبب كان زيادة النسبة المئوية للسكريات المرجعة للبطاطس التي تأثر بالحرارة و وصلت الى حدود 1.93 % بينما كانت 1.60% في حالتها الطازجة. و عند اعادة تشرب العينات تحصلنا على القيم التالية: 6.53، 9.23 و 10.15. أما عند معالجة عينات البطاطس مسبقا بكلوريد الكالسيوم (CaCl₂) قبل إجراء عملية التجفيف مباشرة بنسبة 1 % فانخفضت الفروق اللونية من 23.13 الى 17.57.

➤ زيادة حرارة هواء التجفيف أكثر من 50 درجة له تأثير سلبي على التقييم الحسي من حيث: الذوق ، واللون، والنكهة، و البنية والقبول العام.

➤ قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) إنخفضت من 6.01 ، 5.91 الى 5.90 عند زيادة درجة الحرارة من 50، 55 إلى 60 درجة، بينما لم يطرأ أن تغير على قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) للبطاطس المجففة عند 50 درجة و توافقت قيمتها مع قيمة البطاطس الطازجة. كذلك انخفض أيضا محتوى حمض الستريك للعينات المجففة من 1.26، 1.20 إلى 0.98 غرام لكل 100 غرام من المادة الجافة على التوالي، فيما كان 1.28 غرام لكل 100 غرام من المادة الجافة بالنسبة للعينات الطازجة .

- جزء الدراسة الاقتصادية:

أظهرت الدراسة الاقتصادية للمجفف الشمسي الهجين بأن سعر تجفيف واحد كلغ من البطاطس يكون محدود سبعة دنانير جزائرية، غير أن هذا السعر يتحكم في عدة عوامل و هي: سمك الشرائح المجففة، مدة صلاحية مكونات جهاز التجفيف، فاتورة الكهرباء المستهلكة من طرف الجهاز خلال عملية التجفيف، نوعية العوازل المستعملة للعزل الحراري، طريقة التركيب باللحام أو البراشم، و كذلك يتغير السعر حسب فصول السنة.

التوصيات

- ✓ يمكن تعميم هذه الفكرة على المزارعين لتجفيف البطاطس نظرا لبساطة التصميم و مرونة التشغيل، أو إنشاء مؤسسات مصغرة لتحويل الفائض من البطاطس إلى شرائح جافة أو مسحوق و تعبئته في أكياس.
- ✓ دراسة تأثير زيادة درجة حرارة هواء التجفيف على البنية التركيبية للبطاطس (المعادن و الفيتامينات) و كذلك القيمة الغذائية.
- ✓ لعدم توفر دراسات على عينات لمنطقتي توقورت و الوادي كما هو الحال لرمل منطقة ورقلة، فيمكن إجراء دراسات لمعرفة الخصائص الكيميائية، الفيزيائية و الحرارية لعينات رمل المنطقتين لكشف السبب الحقيقي من وراء المردود الطاقوي الأحسن للاقط المزود برمل منطقة توقورت بالمقارنة بمنطقتي ورقلة و الوادي.
- ✓ لمعرفة تأثير الزيادة في سمك طبقة الرمل أكثر من 0.84 مم على المردود الطاقوي اليومي للاقط الشمسي (تأثير إيجابي أو سلبي) يستحسن استكمال الدراسة حتى يتبين ذلك.

المراجع

المراجع

المراجع بالعربية:

- اشتية محمد سليم علي، & جاموس رنا ماجد. (2010). التجفيف الشمسي للفواكه الخضروات: خبرات من فلسطين. مركز أبحاث التنوع الحيوي و البيئة (بيرك)، نابلس فلسطين.
- الحلبي أسعد رحمان سعيد. (2007). تصميم وتصنيع واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر، مجلة البصرة لأبحاث نخلة التمر 6 (1). 9ص.
- الحلبي اسعد رحمن سعيد ، اسكندر محمد زيارة ، & عبد الحسن خالد حسك. (2011). دراسة تجفيف بعض أنواع الخضر بفرن الهالوجين، مجلة الكوفة للعلوم الزراعية. 3 (1)، 216-209.
- الحمداي صبيح عبد الوهاب ، العبيدي حميد صالح حماد، & المحمدي سعد عبد الواحد (2013). تأثير تجفيف أو إزالة النمو الخضري و قطع الري و العلاج التجفيفي في بعض الصفات الخزنية لدرنات البطاطس (*Solanum tuberosum* L). مجلة ديالى للعلوم الزراعية، 5(2)، 514-500.
- الشطي صباح مالك حبيب ، الحلبي أسعد رحمان سعيد ، & عاتي جعفر عبد الرضا. (2014). دراسة الصفات الحسية والفيزيائية لأسماك الكارب المجففة بمجفف يعمل بالطاقة الشمسية وتحت التفريغ المصنع محليا: الجزء الثالث. مجلة جامعة ذي قار للبحوث الزراعية، 3(1)، 340-325.
- العاتي مختار. (2011). المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية الخاصة بالجنوب الجزائري (مذكرة ماجستير ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة).
- عمامرة محمد يوسف، بوعلام بوعمار، & Vincent Lagarde. (2016). دراسة تحليلية لإنتاج و دعم زراعة البطاطس بوادي سوف للفترة (2007-2014) باستعمال طريقة تحليل المركبات الاساسية ACP، مجلة أداء المؤسسات الجزائرية، 10، 50-37.

- غمام عمارة الجيلاني.(2016).دراسة تأثير الاسمدة العضوية الطبيعية المختلفة ومستوى النتروجين في نمو وانتاجية البطاطا صنف سبونتا (Solanum tuberosum L.)في منطقة وادي سوف (أطروحة دكتوراه ، جامعة الاخوة منتوري قسنطينة).
- كلوي حسن ، سمينة غياث ، مبروك مختار ، قرّة بت فرانسوا ، عميرين عبد الناصر ، & داغستاني منال. (2010). كتاب الغذاء. المركز العربي للتعريب، الترجمة، التأليف و النشر.
- مجيد غياث حميد ، &الحلبي اسعد رحمن. (2007). تصميم مجفف شمسي مزود بمنظومتي الراجع والتسخين واختباره في تجفيف الاسماك واللحوم. مجلة أبحاث البصرة (العمليات)، 33(3)، 20-30.
- محدادي نورية ، & شيحي إسماعيل.(2014).تحديد التركيب الجزيئي لأصناف اللّونية الموجودة في رمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الحمراء(FTIR). حوليات العلوم و التكنولوجيا - جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 6(2)، 178-185.
- مشري محمد العيد ، & شيحي إسماعيل.(2012). دراسة التركيب الذري لرمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافيات AAN و EDX و MEB و XRF . حوليات العلوم و التكنولوجيا - جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 4(2)، 69-79.
- مشري محمد العيد.(2016). دراسة أثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان ورقلة، و على ناقليته الكهربائية، باستخدام الطرق الطيفية ا (أطروحة دكتوراه ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة).
- الملاح عبد الرزاق رؤوف، & اسماعيل عزام عبد العزيز. (2005). تأثير الموجات الدقيقة microwave على سرعة التجفيف والمحتوى الرطوبي ونسبة الانكماش بالسّمك والوزن النوعي لنوعين من الخشب. مجلة جامعة تكريت للعلوم الزراعية، 5(1)، 161-178 .

- Abdulla, G., El-Shourbagy, G. A., & SitoHy, M. Z. (2014). Effect of pre-drying, blanching and citric acid treatments on the quality of fried sweet potato chips. *American journal of food technology*, 9(1), 39-48.
- Abene, A., Dubois, V., Le Ray, M., & Ouagued, A. (2004). Study of a solar air flat plate collector: use of obstacles and application for the drying of grape. *Journal of food engineering*, 65(1), 15-22.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., & Arabhosseini, A. (2009). Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. *Energy conversion and management*, 50(5), 1348-1355.
- Ahrné, L., Prothon, F., & Funebo, T. (2003). Comparison of drying kinetics and texture effects of two calcium pretreatments before microwave-assisted dehydration of apple and potato. *International journal of food science & technology*, 38(4), 411-420.
- Akpinar, E., Midilli, A., & Bicer, Y. (2003). Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy conversion and management*, 44(10), 1689-1705.
- Alghoul, M. A., Sulaiman, M. Y., Azmi, B. Z., & Wahab, M. A. (2005). Review of materials for solar thermal collectors. *Anti-Corrosion methods and materials*, 52(4), 199-206.
- AL-Hafidh, M. H., & Ameen, S. M. (2009). Heat and Mass Transfer During Air Drying of Sweet Potato. *Journal of Engineering*, 15(3), 4075-4086.
- Alwan, M. M. (2013). Equilibrium Moisture Sorption Isotherms of Aspirin. *Journal of Engineering*, 19(4), 453-463.
- Azizi, S., & Peyghambarzadeh, S. M. (2010). Effect of temperature history on mass transfer diffusivity in convective drying process. *World Applied Sciences Journal*, 10(10), 1216-1224.
- Bakal, S. B., Gedam, K. H., & Sharma, G. P. (2010). Drying characteristics and kinetics of fluidized bed dried potato. *Agricultural and food science*, 19, 127-135.

- Bakari, R., Minja, R. J. A., & Njau, K. N. (2014). Effect of glass thickness on performance of flat plate solar collectors for fruits drying. *Journal of Energy*, 2014. 1-8.
- Bechki, D., Bouguettaia, H., Galvez, J. B., Babay, S., Bouchekima, B, Boughali, S., & Mahcene. H. (2010). Effect of partial intermittent shading on the performance of a simple basin solar still in south Algeria. *Desalination*, 260, 65- 69.
- Benhamou, A., Idlimam, A., Lamharrar, A., Benyoucef, B., & Kouhila, M. (2008). Diffusivité hydrique et cinétique de séchage solaire en convection forcée des feuilles de marjolaine. *Revue des Energies renouvelables*, 11(1), 75-85.
- Benyagoub, E., Boulenouar N., & Cheriti, A. (2011). Palmier dattier et ethnonutrition au sud ouest Algérien : Analyse d'extrait de datte «Robb». *PhytoChem & BioSub Journal*, 5 (1), 30-37.
- Bhattiprolu, S. (2004). Color, texture and rehydration characteristics of ohmically treated sweet potatoes (Thesis Master of Science, Louisiana State University)..
- Bonazzi, C., & Bimbenet, J. J. (2003). Séchage des produits alimentaires Principes. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 2(F3000), F3000-1.
- Boudhrioua, N., Kouhila, M., Kechaou, N. (2008). Experimental and mathematical investigations of convective solar drying of four varieties of olive leaves. *food and bioproducts processing*, 86(3), 176-184.
- Boughali, S., Bechki, D., Bouguettaia, H., Lati, M., & Mennouche, D. (2017). Nouveau paradigme de la transition énergétique à l'ère du développement durable: Cas de l'Algérie. *Modern Arabic Review of Fundamental & Applied Physics*, 2 (1), 33 – 37.
- Boughali, S., Benmoussa, H., Bouchekima, B., Mennouche, D., Bouguettaia, H., & Bechki, D. (2009). Crop drying by indirect active hybrid solar–Electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara. *Solar energy*, 83(12), 2223-2232.
- Chandrajou, S., Kumar, C. S. C., & Venkatesh, R. (2014). Estimation of reducing sugar by acid hydrolysis of black grape (*Vitis vinifera* L.) peels by standard methods. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6 (5), 862-866.

- Chen, J. Y., Zhang, H., Miao, Y., & Asakura, M. (2010). Nondestructive determination of sugar content in potato tubers using visible and near infrared spectroscopy. *Japan Journal of Food Engineering*, 11(1), 59-64.
- Chouicha, S., Boubekri, A., Mennouche, D., & Berrbeuh, M. H. (2013). Solar drying of sliced potatoes. An experimental investigation. *Energy Procedia*, 36, 1276-1285.
- Chouicha, S., Boubekri, A., Mennouche, D., Bouguettaia, H., Berrbeuh, M. H., Bouhafs, S., & Rezzoug, W. (2014). Valorization study of treated deglet-nour dates by solar drying using three different solar driers. *Energy Procedia*, 50, 907-916.
- Dadda, B., Kherrou, S., & Serir, L. (2008). Réalisation d'un séchoir solaire indirect. *Revue des Energies Renouvelables*, 2008, 127-134.
- Daguenet, M. (1985). *Les séchoirs solaires*. Publié par l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture ; Paris- France.
- Darvishi, H. (2012). Energy consumption and mathematical modeling of microwave drying of potato slices. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(1), 94-102.
- Demiray, E., & Tulek, Y. (2014). Color degradation kinetics of carrot (*Daucus carota L.*) slices during hot air drying. *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 800-805.
- Diago, M., Iniesta, A. C., Delclos, T., Shamim, T., & Calvet, N. (2015). Characterization of desert sand for its feasible use as thermal energy storage medium. *Energy Procedia*, 75, 2113-2118.
- El-Sebaili, A. A., & Shalaby, S. M. (2013). Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint. *Energy Conversion and Management*, 74, 109-116.
- El-Sebaili, A. A., Aboul-Enein, S., Ramadan, M. R. I., & El-Bialy, E. (2007). Year round performance of double pass solar air heater with packed bed. *Energy Conversion and management*, 48(3), 990-1003.
- Fahloul, D., Benmadi, F., & Boudraa, S. (2009). Estimation de la diffusivité massique et cinétique de séchage sous vide de la pomme de terre (variété Spunta). *Revue des Energies Renouvelables*, 12(4), 655-665.

- Fekih, A., Talbi, N., & Sadaoui, B. (2007). Etude spatiotemporelle des événements de sable sur la région sud-est: Méthode de suivi et de prévision. Journées d'étude et de sensibilisation sur la quantification du sable en transit éolien et sur la lutte contre l'ensablement. Ouargla.
- Gbaha, P., Andoh, H. Y., Saraka, J. K., Koua, B. K., & Toure, S. (2007). Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow. *Renewable Energy*, 32(11), 1817-1829.
- Genwa, K. R., & Sagar, C. P. (2013). Energy efficiency, solar energy conversion and storage in photogalvanic cell. *Energy conversion and management*, 66, 121-126.
- Ghodbane, M., & Boumeddane, B. (2016). A numerical analysis of the energy behavior of a parabolic trough concentrator. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 671-691
- Hafezi, N., Sheikhdavoodi, M. J., & Sajadiye, S. M. (2015). Evaluation of Quality Characteristics of Potato Slices during Drying by Infrared Radiation Heating Method under Vacuum. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 4(3), 1-8.
- Henderson, S.M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 17, 1167-1172.
- Henderson, S.M., Pabis, S. (1961). Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.
- Ibrahim, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Mat, S., & Sopian, K. (2011). Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(1), 352-365.
- Kareem, M., Habib, K., & Sulaiman, S. (2013). Comparative study of single pass collector and double pass solar collector filled with porous media. *Asian Journal of Scientific Research*, 6(3), 445-455.
- Kassem, A. S. (1998). Comparative studies on thin layer drying models for wheat. In 13th international congress on agricultural engineering, Morocco, 6, 2-6

Khalifa, M., Hajji, M., & Ezzaouia, H. (2012). Impurity removal process for high-purity silica production by acid leaching. In EPJ Web of Conferences (Vol. 29, p. 00014). EDP Sciences.

Kolusheva, T., & Marinova, A. (2011). Fast complexometric method for analysis of reducing sugars obtained during starch hydrolysis. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 46(1), 75-80.

Lati, M., Boughali, S., Bouguettaia, H., Mennouche, D., Bechki, D., Nouha, C., & Gagui, M. (2018). Modélisation mathématique et estimation de la diffusivité de séchage solaire de pomme de terre (variété Désiré). 6th Maghreb Seminar on Drying Sciences and Technologies(SMSTS). Matmata (Tunisia).

Lati, M., Boughali, S., Bechki, D., Bouguettaia, H., Mennouche, D., Gana, N., & Ghetas, S. (2019). Experimental investigation on effect of an absorber plate covered by a layer of sand on the efficiency of passive solar air collector. *International journal of Green Energy*, 16(6), 413-422.

Lati^a, M., Boughali, S., Bouguettaia, H., Mennouche, D., & Bechki, D. (2016). Experimental study on flat plate air solar collector using a thin sand layer, *Technologies and Materials for Renewable Energy. Environment and Sustainability (TMREES15)* Beirut-Lebanon.

Lati^a, M., Boughali, S., Bouguettaia, H., Mennouche, D., Bechki, D., Khemgani, M.M., & Ben Mir, Z. (2017). Effect of solar drying on the quality of potato. 4th International Conference on Green Energy and Environmental Engineering GEEE, Sousse, Tunisia

Lati^b, M., Boughali, S., Bouguettaia, H., Mennouche, D., & Bechki, D. (2016). Experimental study on flat plate air solar collector using a thin sand layer. In *AIP Conference Proceedings*(Vol. 1758, No. 1, p. 030018). AIP Publishing.

Lati^b, M., Boughali, S., Bouguettaia, H., Mennouche, D., Bechki, D., Khemgani, M.M., & Ben Mir, Z. (2017). Effect of solar drying on the quality of potato. *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology - IJSET* , 5 1- 4.

Lewis, W. K., (1921). The rate of drying of solid materials. *Journal of Industrial Engineering chemistry*, 5, 427-433.

- Louazene, M. L., Korichi, D., & Azoui, B. (2013). Optimization of global solar radiation of tilt angle for solar panels, location: Ouargla-Algeria. *Journal of Electrical Engineering*, 13(1), 106-111.
- Mahmood, A. J., Aldabbagh, L. B. Y., & Egelioglu, F. (2015). Investigation of single and double pass solar air heater with transverse fins and a package wire mesh layer. *Energy Conversion and Management*, 89, 599-607.
- Mammadov, F. (2012). Study of selective surface of solar heat receiver. *International Journal of Energy Engineering*, 2(4), 138-144.
- Mekhermeche, A., Kriker, A., & Dahmani, S. (2016, July). Contribution to the study of thermal properties of clay bricks reinforced by date palm fiber. In *AIP Conference Proceedings*(Vol. 1758, No. 1, p. 030004). AIP Publishing.
- Mennouche, D., Boucekima, B., Boubekri, A., Boughali, S., & Benalia, E. (2015). Amélioration d'un procédé de séchage solaire direct destiné pour le séchage de la pâte de tomate. 5^{ème} Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage (SMSTS) Ouargla (Algérie).
- Mennouche, D., Boucekima, B., Boubekri, A., Boughali, S., Bouguettaia, H., & Bechki, D. (2014). Valorization of rehydrated Deglet-Nour dates by an experimental investigation of solar drying processing method. *Energy conversion and management*, 84, 481-487.
- Mennouche, D., Boucekima, B., Boughali, S., Bouguettaia, H., Bechki, D. (2007). Séchage solaire de la tomate dans un séchoir indirect à convection naturelle. *Conférence internationale sur le génie des procédés, Béjaia*.
- Mennouche, D., Khenblouche, A., Boubekri, A., Boucekima, B., Boughali, S., & Lati, M. (2017). Etude expérimental d'un nouveau procédé de séchage solaire destiné pour le séchage de la pâte de tomate. *International Journal of Scientific Research and Engineering Technology*, 5, 22-27.
- Mercs, D., Didelot, A., Capon, F., Pierson, J. F., Hafner, B., Pazidis, A., Föste, S., & Reineke-Koch, R. (2016). Innovative smart selective coating to avoid overheating in highly efficient thermal solar collectors. *Energy Procedia*, 91, 84-93.

- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z.A., (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology* 20(7), 1503-1513
- Mihaela, U., & IldiNo, A. (2012). Chapter 15, Zeolite Utilization in Solar Energy Storage and Heat Exchange. *Handbook of Natural Zeolites* edited by Inglezakis, V.J., Zorpas, A.A. Bentham Science Publishers, 369-398.
- Miloştean, D., & Flori, M. (2017). An overview on the flat-plate solar collectors and their thermal efficiency. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 15(4), 123-128.
- Naderinezhad, S., Etesami, N., Najafabady, A. P., & Falavarjani, M. G. (2015). Mathematical modeling of drying of patatoslices in a forced convective drying based on important parameters. *Food science and Nutrition*, 4 (1), 110-118.
- Naderinezhad, S., Etesami, N., Poormalek Najafabady, A., & Ghasemi Falavarjani, M. (2016). Mathematical modeling of drying of potato slices in a forced convective dryer based on important parameters. *Food science & nutrition*, 4(1), 110-118.
- Nadir, N., Bouguettaia, H., Boughali, S., & Bechki, D. (2019). Use of a new agricultural product as thermal insulation for solar collector. *Renewable Energy*, 134, 569-578.
- Nie, S., Huang, J., Hu, J., Zhang, Y., Wang, S., Li, C., Marcone, M., & Xie, M. (2013). Effect of pH, temperature and heating time on the formation of furan in sugar–glycine model systems. *Food Science and Human Wellness*, 2(2), 87-92.
- Omojaro, A. P., & Aldabbagh, L. B. Y. (2010). Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber. *Applied energy*, 87(12), 3759-3765.
- Page, G. E., (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying of shelled corn in thin layer. (Thesis Master of Science, Purdue University, Lafayette, IN.)
- Rahman, M. S. (Ed.). (2007). *Handbook of food preservation*. CRC press.
- Ranjithkumar, K., Pradeep Kumar, S. L., & Jayaprakash, L. (2015). Design and thermal analysis of solar plate collector with and without porous medium. *International journal of innovative research in science, Engineering and Technology*, 4, 447-457.

- Salman A. Z., Fayad, M. A. (2011). The application of solar energy in the crops process. Tikrit journal of Engraining sciences 18 (1),1-14.
- Sepelev, I., & Galoburda, R. (2015). Industrial potato peel waste application in food production: a review. Food sciences, 1, 130-136.
- Sharaf-Elden, Y. I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M. Y. (1980). A model for ear corn drying, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 5, 1261–1266
- Sharaky, A. M., Labib, T. M., & Philip, G. (2002). Sand dune movement and its effect on cultivated lands in Africa: case study: Dakhla Oasis, Western Desert, Egypt. Land Degradation in Egypt and Africa, Cairo University.
- Singh, N. J., & Pandey, R. K. (2011). Rehydration characteristics and structural changes of sweet potato cubes after dehydration. American journal of food technology, 6(8), 709-716.
- Touati, B. (2008). Etude théorique et expérimentale du séchage solaire des feuilles de la menthe verte (*Mentha viridis*) (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).
- Tria, M., & Chehat, F. (2013). Typologie des producteurs de pomme de terre dans la région d'ain defla. Les cahiers du CREAD, 103, 107-136.
- Tyagi, V. V., Panwar, N. L., Rahim, N. A., & Kothari, R. (2012). Review on solar air heating system with and without thermal energy storage system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(4), 2289-2303.
- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B., Wratten, F.T., (1995). Effects of drying air parameters on rice drying models. Transactions of the the American Society of Agricultural Engineers., 28, 296-301.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F., (1999). Drying characteristics of laurel leaves under different conditions. Proceedings of the International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, 26-27 May, Adana, Turkey, 565–569.
- Yan, W. Q., Zhang, M. I. N., Sun, J. C., Huang, L. L., Mujumdar, A. S., & Tang, J. (2011). Influence of microwave drying method on the characterists of the sweet potato dice. European Drying Conference - EuroDrying'2011; Spain.

Yousef, B. (2008). Performance analysis for flat plate collector with and without porous media. *Journal of Energy in Southern Africa*. 19(4), 32-42.

Zaïd, A.A., Moulla, A., Hantala, M. S., Desmons, J.Y. (2001). Amélioration des performances des capteurs solaires plans à air: application au séchage de l'oignon jaune et du hareng. *Rev. Energ*, 4, 69-78.

Zerrouki, M. (2015). Contribution à l'amélioration des performances d'un distillateur à film capillaire par couplage avec un distillateur simple (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla).

Zhu, A., & Jiang, F. (2014). Modeling of mass transfer performance of hot-air drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 20(2), 171-181.

التقارير:

مديرية البرمجة و متابعة الميزانية لولاية الوادي. (2017). مونوغرافيا و لاية الوادي لسنة 2016.

السنة الدولية للبطاطس 2008. (2009). إضاءة جديدة على الكنز الدفين، منظمة الأغذية و الزراعة للأمم المتحدة، روما
ISBN 978-92-5-506142-3

Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural « MADR». (2014). Mémento de la pomme de terre Algérienne. Observatoire des Filières Agricoles et Agroalimentaires; Algérie.

Ministère du Commerce. (2013).Fiche Produit Pomme de terre Algérienne., Agence Nationale de Promotion du Commerce Extérieur Direction Analyse des Produits (ALGEX), Sous-Direction Analyse des Produits Agricoles.

Guide METTLER TOLEDO. (2012). Guide de l'acidité : Détermination de la teneur en acides des aliments et des boissons, Titration, pH-mètres et électrodes ; Suisse.

مواقع الانترنت:

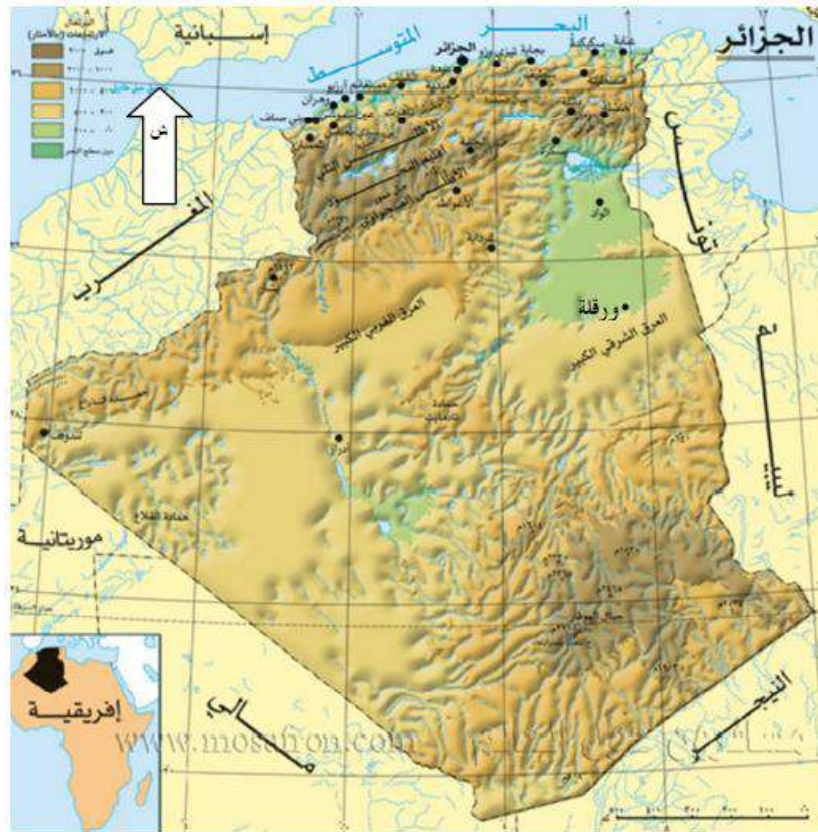
<http://www.fao.org/faostat>

الملاحق

الملحق أ: الرمل و خصائصه

1.أ أماكن تواجد الرمل:

تغطي الرمال حوالي الربع من غطاء القشرة الأرضية و تشكل 18% من صحراء إفريقيا، [Sharaky et al., 2002] و التي تعتبر الجزائر أكبر دولها . تقدر مساحة الجزائر 2.4 مليون كلم² ، و تحتل الصحراء حوالي 80 % من مساحتها الكلية [Bechki et al., 2010]، و تشكل الكثبان الرملية وحدها من الصحراء ما يقارب ثلث مساحتها، أي ما يعادل ربع مساحة الجزائر. تحتوي الجزائر سلاسل ضخمة و طويلة من الكثبان الرملية، و تدعى العروق، من أهمها العرق الشرقي و الغربي الكبيرين(الشكل أ-1)



الشكل(أ.1): توزيع الكثبان الرملية في الصحراء الجزائرية.

2.أ مكونات رمل الكثبان :

تتكون رمال الكثبان في حالتها الطبيعية من الكوارتز " أكسيد السليكون" (SiO_2) بنسبة عالية و بعض الأكاسيد بنسب أقل نذكر منها: أكسيد الألمنيوم(Al_2O_3) ، ثلاثي أكسيد الحديد(Fe_2O_3)، كربونات الكالسيوم($CaCO_3$)،

ثاني أكسيد الكبريت (SO_3) ، غير ان هذه النسب تتغير من منطقة الى أخرى. و الجدول (أ.1) يلخص نتيجة التحليل الكيميائي لعينة أصلية من رمل منطقة ورقلة.

الجدول (أ.1): المكونات الرئيسية لرمل كثبان منطقة ورقلة [مشري، 2016].

المكونات	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	SO ₃	Cl
النسب الكتلية (%)	64.04	0.22	1.91	11.67	0.41	21.72	0.02

عند تسخين الرمل يؤدي إلى تحولات كيميائية مختلفة، فتتحول بنية بعض المركبات، و تختفي أخرى، و تظهر مركبات جديدة، و بالتسخين المتواصل حتى 1000 °C، ينطلق غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_3)، و تتناقص أيضا نسبة أكسيد الكالسيوم و ذلك بسبب إتحاد جزء منها مع بعض الكوارتز (SiO_2) لتشكيل مركب ال wollastonite ($CaSiO_3$)، و تؤدي هذه التحولات الى الرفع من نسبة اكسيد السليكون بالمقارنة بالعينات الغير معالجة بالحرارة [مشري، 2016].

أ.3 الخصائص الفيزيائية لرمل الكثبان:

أ.3.1 اللون:

تتصف الرمال بألوان مختلفة تبعا للتركيب الكيميائي ، فغالبا ما تكون بيضاء شفافة لوجود الكالسيوم (Ca) و الكبريت (S) بكميات كبيرة، و قد تكون بيضاء غير شفافة لاحتوائها على نسبة قليلة من البوتاسيوم (K). و يمكن أن تكون بنية أو حمراء لاحتوائها على السليسيوم (Si) بكميات كبيرة نوعا ما و الحديد (Fe_2O_3)، و إذا احتوت على السليسيوم (Si) و الأكسجين (O) بكمية كبيرة و البوتاسيوم (K) بكمية معتبرة فإنها تكون رمادية أو سوداء [مشري و آخرون، 2012]. و قد تأثر الشوائب التي تحتوي عليها على لون حبيبات، فالكوارتز (SiO_2) مثلا يكون في الأصل عديم اللون، إلا أنه يتلون بالأخضر عند إحتوائه على آثار من النيكل، كما قد يتلون بالأحمر بوجود شوائب من الحديد فيه [محدادي و آخرون، 2014].

أ.3.2 الخصائص الحبيبية:

تتفاوت حبيبات رمل الكثبان من بين 0.02 و 2 مم، منطقة إلى أخرى. يوجد عدة تصنيفات للرمل تبعا لأحجام حبيباتها. من بين هذه التصنيفات تصنيف يقسم الرمل الى خمسة أصناف كما هو مبين في الجدول (أ.2).

الجدول (أ.2): تصنيف الرمل وفقا لأقطار حبيباته [محدادي و آخرون، 2014].

أقطار الحبيبات (Ø) (mm)	التصنيف
$0.05 < \text{Ø} < 0.10$	رمل ناعم جدا (VFS)
$0.10 < \text{Ø} < 0.25$	رمل ناعم (FS)
$0.25 < \text{Ø} < 0.50$	رمل متوسط (MS)
$0.50 < \text{Ø} < 1.00$	رمل خشن (CS)
$1.00 < \text{Ø} < 2.00$	رمل خشن جدا (VCS)

أ.3.3 الكتلة الحجمية:

هناك نوعين من الكتلة الحجمية المطلقة و الظاهرية، فحسب التعريف فالكتلة الحجمية المطلقة او الجافة هي نسبة الكتلة على الحجم الكلي لحبيبات الرمل فقط ، اما الكتلة الحجمية الظاهرية فهي نسبة الكتلة على حجم حبيبات الرمل مع احتساب حجم المسامات التي بينها، فهي تتغير من رمل إلى آخر، و فيما يلي الكتلة الحجمية لرمل كثبان منطقة ورقلة.

[Mekhermeche et al., 2016]

➤ الكتلة الحجمية المطلقة : 2553.28 kg/m^3

➤ الكتلة الحجمية الظاهرية: 1481.50 kg/m^3

الملحق ب: جدول برتراند (Bertrand)

الجدول (ب.1): جدول برتراند (Bertrand) لحساب كتلة السكريات الموافقة لحجم برمنغنات البوتاسيوم

KMnO ₄ (ml)	Sucre (mg)	KMnO ₄ (ml)	Sucre (mg)	KMnO ₄ (ml)	Sucre (mg)	KMnO ₄ (ml)	Sucre (mg)
3.2	10	6.2	19.4	9.2	29.5	12.3	40.2
3.3	10.2	6.3	19.7	9.3	29.8	12.4	40.5
3.4	10.4	6.4	20.1	9.4	30.1	12.5	40.8
3.5	10.7	6.5	20.4	9.5	30.5	12.6	41.2
3.6	11	6.6	20.7	9.6	30.8	12.7	41.8
3.7	11.3	6.7	21.1	9.7	31.1	12.8	42
3.8	11.7	6.8	21.4	9.8	31.5	12.9	42.3
3.9	12	6.9	21.7	9.9	31.8	13	42.6
4	12.4	7	22	10	32.2	13.1	43
4.1	12.7	7.1	22.4	10.1	32.2	13.2	43.3
4.2	13	7.2	22.7	10.2	32.9	13.3	43.7
4.3	13.3	7.3	23	10.3	33.3	13.4	44.1
4.4	13.6	7.4	23.4	10.4	33.6	13.5	44.4
4.5	14	7.5	23.7	10.5	33.9	13.6	44.7
4.6	14.5	7.6	24.1	10.6	34.3	13.7	45.2
4.7	14.6	7.7	24.4	10.7	34.6	13.8	45.5
4.8	14.9	7.8	24.7	10.8	35	13.9	45.9
4.9	15.3	7.9	25.1	10.9	35.3	14	46.3

5	15.5	8	25.5	11	35.6	14.1	46.6
5.1	15.9	8.1	26	11.1	36	14.2	46.7
5.2	16.2	8.2	26.2	11.2	36.4	14.3	47.3
5.3	16.5	8.3	26.6	11.3	36.7	14.4	47.6
5.4	16.8	8.4	27	11.4	37	14.5	48
5.5	17.2	8.5	27.2	11.5	37.4	14.6	48.4
5.6	17.5	8.6	27.6	11.6	37.7	14.7	48.8
5.7	17.8	8.7	28	11.8	38.1	14.8	49.1
5.8	18.1	8.8	28.2	11.9	38.4	14.9	49.5
5.9	18.5	8.9	28.6	12	38.7	15	49.8
6	18.8	9	29	12.1	39.1	15.1	50.2
6.1	19.1	9.1	29.2	12.2	39.4	15.2	50.5

المخلص

ازدادت نسبة إنتاج البطاطس في الوادي بمعدل سريع جدا في السنوات القليلة. و في عام 2013، احتلت ولاية الوادي المركز الأول وطنيا من حيث الإنتاج. استخدام التجفيف الشمسي هو أحد أفضل الطرق الاقتصادية للحفاظ على المحاصيل الزراعية، و للحد من خسائر ما بعد الحصاد. المجفف الهجين (شمسي - كهربائي) غير المباشر الذي يعمل بالحمل القسري موجود على مستوى مخبر الطاقات الجديدة والمتجددة في المناطق الجافة (LENREZA)، بجامعة قاصدي مرباح - ورقلة.

للتقليل من استعمال الطاقة الكهربائية في عملية التجفيف أين تكون الطاقة الشمسية غير كافية و لا سيما في الفترة الصباحية، لهذا لجأنا إلى تحسين الالاقط الشمسي باستعمال طبقة رقيقة من رمل الكثبان، حيث أظهرت النتائج التجريبية لدراسة أداء الالاقط الشمسي أن جميع الالواقط المزودة بطبقة الرمل لديها درجات حرارة أعلى من تلك التي لا تحتوي على الرمل. وقد لوحظ أيضا أنه بالنسبة لكتلة ثابتة (سمك طبقة) للرمل، فإن التحسين يتناسب عكسيا مع أقطار حبيبات الرمل. أمّا بالنسبة لدرجة حرارة الهواء الخارجة من الالاقط المزود بحبيبات رمل ذات اقطار ثابتة فتزيد مع سمك طبقة الرمل. نطبق هذه النتائج على الالاقط الشمسي المزود به المجفف الهجين فتتخف نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال عملية التجفيف.

تُظهر نتائج النمذجة التي أجريت بواسطة برنامج Curve Expert أن نموذج Midilli و Kucuk هو النموذج الأنسب لوصف عملية تجفيف البطاطس في مجال درجات الحرارة (من 50 إلى 60°C). كما يظهر أن معامل الانتشار الفعال يزداد بزيادة درجة الحرارة.

تُشير نتائج الجودة إلى أن التجفيف بدرجة حرارة هواء 50 درجة هي الأفضل من حيث تغيرات لونية منخفضة، محتوى السكريات المرجعة أقل، وقيمة pH مماثلة وأفضل تقييم حسي (الذوق، اللون، النكهة والقبول العام) مقارنة بالمنتج الأصلي قبل عملية التجفيف الشمسي. الكلمات المفتاحية: البطاطس، التجفيف، مجفف هجين، درجة الحرارة، رمل الكثبان.

Résumé

La production de pomme de terre à El-Oued a augmentée à un rythme très rapide au cours des dernières années. En 2013, El-Oued occupait le premier rang national en terme de production. L'utilisation du séchage solaire est l'un des meilleurs moyens économiques de conservation des légumes et de réduction des pertes post-récoltes,

Le séchoir hybride (solaire- électrique) indirect à convection forcée existe au niveau du laboratoire des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides (LENREZA), Université Kasdi Merbah - Ouargla.

Notre contribution pour l'amélioration de la performance du capteur solaire consiste à ajouter une couche mince de sable de dune. On a remarqué que, pour une masse fixe (épaisseur de couche) de sable, l'amélioration du collecteur était inversement proportionnelle aux diamètres de particules de sable. La température de sortie dans le collecteur pour un diamètre de particule fixe augmente avec l'augmentation de l'épaisseur du sable. Ces résultats s'appliquent au capteur solaire muni de séchoir hybride et conduit à réduire la fraction d'énergie électrique utilisée durant l'opération de séchage.

Les résultats de modélisation montrent que le modèle de Midilli et Kucuk est le plus approprié pour la description de l'opération de séchage des pommes de terre pour cette plage des températures (50 à 60°C). Le coefficient de diffusion effectif augmente en fonction de l'augmentation de la température.

Les résultats de qualité montrent que, la température de l'air de séchage de 50°C est la meilleure, car elle produit un changement de couleur total plus léger, une teneur en sucre réducteur moindre, une valeur de pH similaire et une meilleure évaluation sensorielle (goût, couleur, saveur et acceptabilité globale) comparativement au produit original avant le procédé de séchage.

Mots clés: Pomme de terre, Séchage, séchoir hybride, Température, sable de dune.

Abstract

The production of potatoes in El-Oued has increased at a very rapid rate in the last few years. In 2013, El-Oued occupied the first rank nationally in terms of production. Using solar drying is one of the best and economical ways for preserving the vegetables and for reduction in post harvesting losses.

The indirect hybrid dryer (solar- electric) with forced convection exists at the Laboratory of Development of new and Renewable Energy in Arid zones (LENREZA), University of Ouargla.

Our contribution in the amelioration of the solar collector performance consisted in coating the collector by a thin layer of sand dune. It was noticed that, for a fixed mass of sand (given thickness of layer), the improvement of the collector was inversely proportional to the sand particle diameters. The output temperature in the collector for a fixed particle diameter increases with the increase in the thickness of the sand layer. These results are applied to the flat plate solar collector of hybrid dryer and led to reducing the fraction of electrical energy during the drying operation.

Modeling results by Curve Expert show that the Midilli and Kucuk model is most suitable model for the description of the potato drying operation for this range of temperatures (50 -60°C). The curves of the effective diffusion coefficient show that the diffusion in the product of the potato increases with the increase in the temperature.

The results of quality indicated that, the drying air temperature of 50°C was the best as it resulted in a dried product having lightest total color change, lesser reducing sugar content, similar value of pH and the best sensory evaluation (taste, color, flavor and overall acceptability) comparably to the original product before drying process.

Key-words: potato, drying, hybrid dryer, temperature, sand dune.