

جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية الرياضيات وعلوم المادة  
ميدان : علوم المادة  
قسم : الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

تخصص: فيزياء الأرصاد الجوية  
من إعداد الطالبتين: قحف هاجرة & بالرقي عائشة  
بعنوان:

## نمذجة تأثير الرياح السطحية على تشكيل الكتلان الرملية (ولاية ورقلة)

تناقش يوم : / 06/2018 07

أمام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيساً	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر – أ.	بن مبروك لزهري
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد – ب.	فقيه عبد العالي
مشرفا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد – أ.	خلف الله بن بلقاسم

الموسم الجامعي : 2018/2017

# ءادهال ا

احمد الله عز وجل على منه و عونه لإتمام هذا البحث.  
إلى الذي وهبني كل ما يملك حتى أحقق له آماله، إلى من كان يدفعني قدما نحو  
الأمام لنيل

المبتغى، إلى الإنسان الذي إمتلك الإنسانية بكل قوة، إلى الذي سهر على تعليمي  
بتضحيات

جسام مترجمة في تقديسه للعلم، إلى مدرستي الأولى في الحياة،  
أبي الغالي طيب الله ثراه؛

إلى التي وهبت فلذة كبدها كل العطاء و الحنان، إلى التي صبرت على كل شيء، التي  
رعتني

حق الرعاية و كانت سندي في الشدائد، و كانت دعواها لي بالتوفيق، تتبعني خطوة  
خطوة

في عملي، إلى من ارتحت كلما تذكرت ابتسامتها في وجهي نبع الحنان أمي أعز ملاك  
على

القلب و العين جزاها الله عني خير الجزاء في الدارين؛

اليهما أهدي هذا العمل المتواضع لكي أدخل على قلبهما شيئا من السعادة إلى إخوتي  
(علي، محمد، ميلود، كمال، عاشور) و أخواتي (فيروز، جميلة، خضرة، سعيدة) إلى زوجة  
أخي (فتيحة) وخطيبة أخي (إيمان) إلى جدتي و كل فروع العائلة الكريمة (حدة، عرابي، عبد  
الغاني، عبد الرحمان، نسرين، صبرينة، عبد الله، عبد

المالك، إيمان، يعقوب، حفصة، غفران، رهام فردوس، عبد الجليل، عبد الباري، ياسمين، عبد  
الرزوف) الذين تقاسموا معي عبء الحياة؛ إلى من تحلو بالإخاء

وتميزوا بالوفاء و العطاء إلى ينابيع الصدق الصافي إلى من معهم سعدت، و برقتهم  
في دروب الحياة

الحلوة و الحزينة سرت إلى من كانوا معي على طريق النجاح و الخير صدقاتي في  
الإقامة الجامعية

(فاطمة، إكرام، منال حياة، جميلة، نوال، كريمة، صبرينة، سكيينة )

إلى أصدقائي و كل من جمعني بهم مشواري الدراسي من بدايته إلى نهايته و ردوا الثقة في  
نفسي و أعطوني الأمل في الدراسة (لويضة، سليمة، هاجر، جمعة، نادية، جويذة، فضيل، عبد الرزاق)  
حفضهم الله إلى كل من ذكرهم قلبي

و لم يكتبهم قلبي إلى الأساتذة المحترمين و الذي بفضلهم يتم النجاح

إليكم جميعا أهدي هذا العمل المتواضع

عائشة

بالرقي...

## شكر و عرفان

الحمد لله الذي وفقني على هذا العمل والذي بنعمته تتم الصالحات و  
بنوره تنزل البركات.

أتوجه بالشكر للأستاذ المشرف بن بقاسم خلف الله على توجيهاته و  
تصويباته الرشيدة لهذا العمل.

كما أتقدم بالشكر لموظفي المديرية الجهوية للأرصاد الجوية بورقلة ،  
على

المعلومات القيمة التي فادوني بها.

و لا يسعني إلا أن أشكر أعضاء لجنة المناقشة بن مبروك لزهري رئيساً  
و فقيه عبد العالي مناقشاً لما أبدوه لي من  
ملاحظات و آراء و توجيهات صادقة من شأنها إثراء و إكمال الجيد  
في هذه الدراسة

الإهداء

الحمد لله الذي هدانا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله وبحمد الله تتم  
الصالحات والصلاة والسلام على نبينا محمد صلى الله وسلم على  
آله وصحبه الكرام أما بعد

إلى أغلى ما أملك في الوجود وشموع قلبي ونور دربي أمي و أبي  
حفظهما الله و أطال الله في عمرهما

إلى جدتي العزيزة إلى أخواي العزيزين محمد الصالح ويوسف  
حفظهما الله

إلى أخواتي وأبنائهم وأزواجهم كل باسمه إلى أختاي العزيزتين  
صفاء ومروة

إلى رفيقتي بالرقمي عائشة إلى كل أصدقائي و زملائي في الدراسة  
كل واحد باسمه

إلى أخواتي وعائلي الثانية في الغربية إلى كل من تذكرهم قلبي  
ولم يذكرهم قلبي

إلى كل من يسعى في سبيل العلم

إليكم جميعا أهدي ثمرة مجهودي العلمي

**قحف هاجرة...**

الفهرس

الإهداء

شكر و عرفان

الفهرس

فهرس الأشكال

فهرس الجداول

الترميز

المقدمة العامة

01

**الفصل الأول: الرياح السطحية و تأثيرها على المناطق الصحراوية**

03

1-1) الطبقة الحدية الجوية

03

1-1-1) تعريف الطبقة الحدية الجوية

03

1-1-2) بنية الطبقة الحدية الجوية

04

1-3-1) سرعة تدفق الهواء بالطبقة الحدية

05

2-1) الرياح

05

1-2-1) تعريف الرياح

05

2-2-1) العوامل المؤثرة على سرعة واتجاه الرياح

06

3-2-1) قياس سرعة الرياح و تحديد اتجاهها

06

4-2-1) تمثيل الرياح في خرائط الرصد الجوي

07

3-1) البيئة الصحراوية

07

1-3-1) نشأة الصحاري

08

2-3-1) الخصائص الطبيعية للبيئة الصحراوية

08

4-1) الخصائص المورفولوجية و الفيزيائية لحبيبات الرمل

08

1-4-1) تعريف الرمل

08

2-4-1) أصناف حبيبات الرمل

09

3-4-1) شكل حبيبات الرمل

09

4-4-1) الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل

10

5-1) آليات النقل الريحي

10

1-5-1) طرق النقل الريحي

11

2-5-1) فعل الرياح على حبيبات الرمل

13

3-5-1) ديناميكا حبيبات الرمل

16

4-5-1) تأثير حبيبات الرمل على الرياح

16

5-5-1) القوى المأثرة على حبيبات الرمل

18

6-5-1) العتبة الديناميكية

**الفصل الثاني: مورفو ديناميكية الكثبان الرملية**

20

1-1) الكثبان الرملية

20

1-1-1) تعريف الكثبان الرملية

20

2-1-1) عوامل تكوين الكثبان الرملية

21	(3-1-II) نشأة الكثبان الرملية
22	(4-1-II) الأشكال المورفولوجية للكثبان الرملية
22	(4-1-1-II) أشكال ناتجة عن اتجاه واحد للرياح
24	(4-1-2-II) أشكال ناتجة عن اتجاهين للرياح
24	(4-1-3-II) أشكال ناتجة عن اتجاهات متعددة للرياح
25	(2-II) نمذجة مورفو ديناميكية الكثيب
25	(1-2-II) نموذج نيبيا و آل ( Niiya et al 2010 )
26	(2-2-II) تدفق حبيبات الرمل على قمة الكثيب
27	(3-2-II) قيمة التقاط الكثيب لحبيبات الرمل
28	(4-2-II) علاقة قيمة ترسب حبيبات الرمل بارتفاع الكثيب
29	(5-2-II) العلاقة بين انحدار الجانب المواجه للرياح و تدفق الحبيبات على القمة
30	(6-2-II) النقل و الترسب على جانبي الكثيب
31	(7-2-II) معادلات إنحفاظ الكتلة ( المادة )
32	(3-II) الكثبان الرملية من نوع البرخان
32	(1-3-II) البرخان
33	(2-3-II) مراحل تكون البرخان
34	(3-3-II) علاقة قيمة التقاط البرخان بارتفاعه
35	(4-3-II) سرعة تقدم البرخان
36	(5-3-II) دراسة الاستقرار الخطي للكثبان المتحولة

### الفصل الثالث: نمذجة رقمية لانماط الرياح السطحية لمنطقتي ورقلة و تقرت

39	(1-III) التعرف على منطقة الدراسة ( ورقلة )
39	(1-1-III) نبذة عن مدينة ورقلة
39	(2-1-III) المناخ
40	(2-III) دراسة و تحليل المعطيات الميدانية لمنطقة الدراسة
40	(1-2-III) دراسة أنماط الرياح السائدة
41	(2-2-III) رسم المخططات البيانية لتغيرات سرعة و اتجاه الرياح
41	(1-2-2-III) رسم منحنيات اتجاه الرياح
41	(1-1-2-2-III) رسم منحنى اتجاه الرياح لمنطقة ورقلة
42	(2-1-2-2-III) رسم منحنى اتجاه الرياح لمنطقة تقرت
43	(2-2-2-III) رسم منحنى السرعة المتوسطة للرياح
43	(1-2-2-2-III) رسم منحنى السرعة المتوسطة للرياح بمنطقة ورقلة
44	(2-2-2-2-III) رسم منحنى السرعة المتوسطة للرياح بمنطقة تقرت
44	(3-III) معالجة البيانات و البرمجة الآلية
45	(1-3-III) نمذجة رياح النمط المتوسط والاضطرابي لمنطقتي ورقلة و تقرت
46	(2-3-III) النتائج ومناقشتها
47	(3-3-III) استقطاب دالة تغيرات سرعة الرياح بمنطقتي تقرت - ورقلة
48	(4-3-III) مقارنة النتائج المتحصل عليها ببيانيا بالملاحظات الميدانية

50  
51

الخلاصة العامة  
قائمة المراجع

فهرس الأشكال :



فهرس الجداول :

10	الجدول (1-I) : يبين أهم الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل.
40	الجدول (1-III) : تغيرات الرياح المتوسطة – السرعة والاتجاه – المسجلة في محطتي الرصد بمنطقة ورقلة و منطقة تقرت على التوالي خلال شهري مارس و افريل.

## جدول الرموز:

الوحدة	التعريف بالرمز	الرمز
m/s	سرعة قص الرياح.	
m/s	سرعة تدفق الهواء على ارتفاع معين.	
/	ثابت فون كارمن.	
m	ارتفاع مرجعي ثابت خشونة السطح.	
m	ارتفاع معين.	
m	نصف قطر حبيبة الرمل.	
kg/ m <sup>3</sup>	الكثافة الحجمية لحبيبة الرمل.	
kg	كتلة حبيبة الرمل.	
N	قوة سحب حبيبات الرمل.	
N	قوة تماسك حبيبات الرمل.	
m	مجال سقوط الحبيبات على السطح.	A
/	ثابت تابع لطبيعة الجسم ولعدد رينولدز للمحور .	
/	ثابت تابع لطبيعة الجسم ولعدد رينولدز للمحور .	
m	النصف القطر المميز للحبيبة .	
m/s	السرعة النسبية.	
kg/ m <sup>3</sup>	الكثافة الحجمية للهواء.	
/	عدد رينولدز.	e
m <sup>2</sup> /s	اللزوجة الديناميكية.	
kg/ m.s	اللزوجة السكونية.	
/	مقلوب عدد رينولدز.	C
kg/ m <sup>3</sup>	الكثافة الحجمية للرمل.	
m/s <sup>2</sup>	ثابت الجاذبية الأرضية.	g
m/s	سرعة تدفق الهواء.	
m/s	السرعة النسبية لحبيبات الرمل.	
m/s	سرعة قذف الرياح لحبيبات الرمل.	ω
s	زمن طيران حبيبات الرمل بالجو.	
m	مدى طيران حبيبات الرمل بالجو.	
m	ارتفاع طيران حبيبات الرمل بالجو.	
s	زمن تسارع الحبيبات بفعل الرياح.	
/	قيمة عددية.	ξ
N	قوة الثقل.	P
N	ورد الفعل.	R
m/s	سرعة انحراف الحبيبات بالرياح في لحظة زمنية	
m	المعيار المحدود لحبيبة الرمل.	
m/s	سرعة ارتداد الحبيبة بعد الاصطدام.	
m/s	سرعة تصادم الحبيبات.	
m/s	سرعة العتبة الديناميكية.	
/	ثابت تناسب سرعة العتبة الديناميكية مع سرعة	

°	زاوية الجانب اللولبي للرياح للكثيب.	
°	زاوية الجانب المظاهر للرياح للكثيب.	
m	وضعية قمة الكثيب.	X
m	الوضعية الجانبية لمقطع الكثيب.	Y
/	ثوابت قياسية مميزة للكثيب.	A, B, C
m <sup>3</sup> /s	تدفق حبيبات الرمل على قمة الكثيب.	Q
m <sup>3</sup> /s	التدفق السائد على السطح.	
/	معامل إرجاع التابع لسرعة الرياح مع الانحدار.	
/	عدد شلدر الموافق للتدفق على سطح مستوي.	
/	عدد شلدر المقاس عند بداية الحركة المميز للوسط	
m <sup>3</sup> /s	التدفق المرجعي.	
/	قيمة التقاط الكثيب.	
m	الارتفاع الحرج المميز للكثيب المؤدي إلى قيمة	
m	التقاطع للكثيب.	
m <sup>3</sup> /s	التدفق الخاص بالجانب المظاهر للرياح.	
m <sup>3</sup> /s	التدفق الخاص بالجانب المواجه للرياح.	
/	معامل متجانس مميز لانتشار الترسب على	
/	الجانب المواجه للرياح للكثيب الترسب على	
m	الخط العرضي للمظهر في اتجاه الكثيب	
m <sup>2</sup>	مساحة مقطع الكثيب	
m <sup>3</sup> /s	التدفق (الترسبي) الخاص بالجانب المواجه	
/	للموجات تظهر نتيجة الانتشار على الجانب المواجه	
/	للموجات بتجانس التدفق الترسبي على قمة الكثيب.	و
/	الشدة النسبية للتدفق الجانبي.	
m <sup>-1</sup>	اعوجاج البرخان بالنسبة للمحور.	
m <sup>-1</sup>	اعوجاج البرخان بالنسبة للارتفاع.	
m	الارتفاع الاعظمي للبرخان.	
m	عرض البرخان.	
m/s	سرعة تقدم البرخان.	
m <sup>-1</sup>	الاعوجاج الكلي للبرخان.	
/	قيمة الالتقاط المتوسطة.	
/	تغير قيمة الالتقاط للجهة المظاهرة للرياح بالكثيب	
m	المعدلات الفعالة المحدود.	
m	العدد الموجي.	



# المقدمة العامة

## المقدمة العامة

لقد كان لدراسة تطور الطبقة الحدية الجوية دور كبير في تحديد العلاقة الوطيدة و المتبادلة بين طبيعة السطح و الحالة الجوية بأي مكان كان، و بما أن منطقتنا (ورقلة) تتسم بالطبيعة الصحراوية، لذا ارتأينا أن نتناول في موضوعنا هذا دراسة العلاقة بين الرياح السطحية وتشكيلات الكثبان الرملية، بالإضافة إلى محاولة التعرف على ديناميكيتها.

نظرا لأهمية الطبقة الحدية الجوية وتطبيقاتها في الأيروديناميكا، الفلاحة، النقل و الحياة بشكل عام، يمكن استغلال هذه الدراسة و الاستفادة منها بشكل كبير في تحديد المناطق الأنجع لتوليد الطاقة بالرياح مثلاً، شق الطرق وبناء الجسور، حماية الهياكل العمرانية (أنابيب الغاز و الصرف) الصناعية والزراعية من خطر زحف الرمال، إلى جانب تشييد البنى التحتية بمراعاة التجمعات الرملية من جراء إختلاف أنماط الرياح السائدة بالمنطقة. في دراستنا هذه، حاولنا الإجابة على بعض التساؤلات المهمة بالإضافة إلى طرح بعض الإشكاليات كذلك، فمثلا ما هي أنماط الرياح السطحية السائدة بمنطقة ورقلة ؟ و ما هي العلاقة بين أنماط الرياح السطحية السائدة و طبيعة السطح بمنطقة ورقلة و ما هو اتجاه تشكيل وديناميكية الكثبان الرملية في هذه المنطقة ؟ للإجابة على هذه الأسئلة، قسمنا الدراسة إلى ثلاثة فصول.

نستهلها بفصل أول، حيث ركزنا على دراسة نظرية للرياح السطحية وتأثيرها على الناطق الصحراوية، تتم فيه دراسة الطبقة الحدية الجوية أين يتم الكشف عن مميزات البيئة الصحراوية إلى جانب توضيح الخصائص المورفولوجية و الديناميكية لحبيبات الرمل وعلاقتها بالرياح من خلال معادلات النقل والترسيب.

أما الفصل الثاني تناولنا فيه دراسة مورفوديناميكية الكثبان الرملية أين تم التعرف على عوامل تشكيلها إلى عدة أشكال مختلفة إلى جانب دراسة أسباب ديناميكيتها وتطورها خلال الزمن.

في الفصل الأخير، حاولنا التعرف على أنماط الرياح السائدة بالمنطقة وذلك من خلال نمذجة تغيرات الرياح السطحية لمنطقتي ورقلة و تقرت بعد معالجة قيم سرعة واتجاه الرياح المأخوذة عن مصلحة الأرصاد الجوية لولاية ورقلة ثم مناقشتها، إلى جانب مقارنة النتائج المحصل عليها عمليا مع الملاحظات الميدانية للكثبان على مستوى منطقة الدراسة.

أخيرا نختتم الدراسة بخلاصة أوجزنا فيها أهم النتائج التي تحصلنا عليها مع ذكر معيقات الدراسة الميدانية إلى جانب تقديم بعض الأفاق المستقبلية لمواصلة البحث في هذا الموضوع.

# الفصل الأول

الرياح السطحية و تأثيرها على المناطق  
الصحراوية

اهتم مجال الأرصاد الجوية بدراسة الطبقة الحدية الجوية و دراسة ديناميكيتها و تطورها وذلك لكونها مكان حدوث أهم الظواهر الجوية كالتساقطات والعواصف والزوابع الرملية، هذه الأخيرة، التي تميز المناطق الصحراوية الجافة وشبه الجافة تبدأ بهبوب رياح عنيفة وبشكل مفاجئ مع تطاير للرمال وانعدام في الرؤية مما يساعد على تشكل التجمعات الرملية.

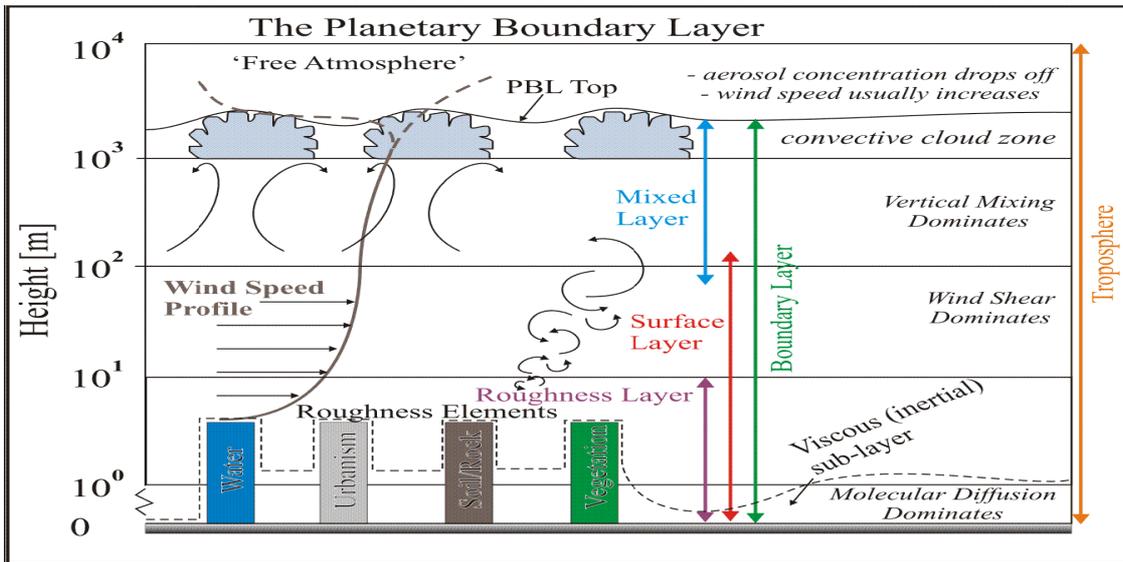
## 1-1-1) الطبقة الحدية الجوية

### 1-1-1) تعريف الطبقة الحدية الجوية :

هي الطبقة الدنيا من التروبوسفير التي تتفاعل بشكل مباشر مع سطح الأرض وذلك في مدى زمني قدره الساعة، من هذا التعريف حدد سمك الطبقة الحدية الجوية من مئات الأمتار إلى بعض الكيلومترات (حوالي 3 كلم)، بحيث يتعلق هذا الأخير بالعوامل الطبيعية والتضاريس من سطح الأرض . [1]

### 2-1-1) بنية الطبقة الحدية الجوية :

يحيط بكوكب الأرض غلاف جوي، هذا الأخير عبارة عن خليط متجانس من الغازات بنسب مختلفة .ينقسم هذا الغلاف إلى أربعة طبقات متباينة متموضعة فوق بعضها البعض، أين تتضمن الطبقة الحدية الجوية بالطبقة الأولى منه (التروبوسفير) ويمكن توضيح بنيتها بالمخطط التالي:



الشكل (1-1) : بنية الطبقة الحدية الجوية [2].

تتواجد الطبقة الحدية الجوية في الطبقة الدنيا من التروبوسفير و تنقسم بذاتها إلى أربعة أقسام مختلفة :

**1- طبقة الاحتكاك المباشر :** سمكها لا يتعدى السنتمترات بحيث تتأثر بشدة بعوامل السطح، وهي طبقة ذات تبادل جزيئي وسرعة قص معتبرة [3].

**2- الطبقة السطحية :** سمكها حوالي 100 متر، تتميز بأنها لا تتأثر بقوة الكوريوليس (تُهمل)، تسيطر عليها بشدة الرياح السطحية، كما تتميز بتدفق ثابت، وتخضع لقوانين مونن – اوبيكوف تأخذ بعين الاعتبار تقريب بوسنسنيك [4].

**3- طبقة اوكان :** تكون في قمة الطبقة الحدية الجوية، سمكها غير ثابت تتواجد على ارتفاع يقدر بحوالي 200 متر من سطح الأرض، تتميز كذلك بأنها طبقة امتزاج تام، بها تظهر الاضطرابات وتأخذ بعين الاعتبار تقريب بوسنسنيك , بهذه الطبقة يكون الاحتكاك مهملاً، هناك توازن بين قوى الضغط وقوة الكوريوليس وقوة رينولدز، كما أنها تخضع لقوانين روسبي و زيلنكيفيش – ديردوف [3].

**4- طبقة الجو الحر :** تكون في قمة الطبقة الحدية الجوية على إرتفاع 300 متر من سطح الأرض، تتميز بأنها لا تتأثر بعوامل إحتكاك السطح، تحتوي على تركيز عالي من عوالق الجو كما تتميز بتوازن جيوستوفي، وتوازن بين قوى الكوريوليس وقوة الضغط وقوة إحتكاك مهملة [3].

### 1-3-1) سرعة تدفق الهواء بالطبقة الحدية :

بالقرب من السطح يكون تدفق الهواء اضطرابي ثابت، حيث تتدخل قوى الاحتكاك بشدة في هذه الحالة نعرف متغير جديد وهو سرعة الاحتكاك ويعرف كذلك بدرجة سرعة القص وهو ناتج عن تواجد عوائق على السطح، وعليه يمكننا حساب السرعة الرياح في المستوي z بالعلاقة التالية [8] :

$$= \ln( ) \quad (1-1)$$

حيث : هو ارتفاع مرجعي ثابت والذي يمثل ثابت خشونة السطح وتحت هذا الحد يؤخذ : 0 = و السرعة المتوسطة معدومة، ارتفاع معين، ثابت فون كارمن ويساوي إلى 0.4 .

### 2-1) الرياح

#### 1-2-1) تعريف الرياح :

المقصود بالرياح هو الحركة الطبيعية للهواء سواء كانت بطيئة أو سريعة و العامل الرئيسي لهبوب الرياح هو اختلاف الضغط الجوي من مكان إلى آخر. تهب الرياح دائما من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض القريبة منها، أين تتبع عند هبوبها نظاما ثابتا حيث تنحرف دائما إلى اليمين من هدفها في نصف الكرة الأرضية الشمالي وإلى اليسار منه في نصفها الجنوبي على حسب قانون فيريل [5].

## 2-2-1 العوامل المؤثرة على سرعة واتجاه الرياح :

تتوقف سرعة الرياح على عدة عوامل أهمها :

- 1- انحدار الضغط الجوي، وهو سرعة تناقص الضغط الجوي نحو مركز الضغط.
- 2- قوة الاحتكاك بالسطح الذي تهب عليه الرياح.
- 3- قوة الطرد المركزية حول المنخفض الجوي .
- 4- قوة الكوريوليس .

يعتبر عامل انحدار الضغط الجوي العامل الرئيسي الذي يؤدي إلى بدأ تحرك الرياح، فكلما كان هذا الانحدار شديدا كانت سرعة الرياح اكبر. يمكن توضيح هذا الانحدار بواسطة خطوط الضغط المتساوي، فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة وكان الفرق بين قيمة كل خط والخط الذي يليه كبيرا كان هذا دليلا على شدة انحدار الضغط وذلك بصورة مشابهة لما تدل عليه الخطوط الكنتورية التي ترسم لتوضيح انحدار سطح الأرض، يبلغ انحدار الضغط الجوي أشده في الأعاصير التي تصاحبها عادة رياح مدمرة [5].

عندما تكون خطوط الضغط المتساوي ممتدة بشكل أقواس أو دوائر فإن قوة الطرد المركزية تعمل على إبقائها بعيدة عن مركز المنخفض مع ملاحظة أن تأثير القوة الكوريولية ينحصر في انحراف الرياح (الاتجاه فقط).

أما عامل الاحتكاك فإنه يؤدي عموما إلى إضعاف سرعة الرياح (الشدة بشكل كبير وبشكل أقل الاتجاه). حيث يظهر تأثيره في الطبقة الملاصقة للسطح أين تتوقف قوته على طبيعة هذا السطح إضافة لدرجة خشونته و مدى استوائه أو تعقده.

كل هذه العوامل يمكن أن تؤثر على حركة الهواء فتؤدي إلى عدم انتظامها، هذه الحالة هي التي يطلق عليها اسم الاضطراب وفيها يتعرض الهواء للسكون لفترات قصيرة تتعاقب معها هبات سريعة أو دوامات هوائية [5].

### 3-2-1 قياس سرعة الرياح و تحديد اتجاهها :

تقاس سرعة الرياح بواسطة جهاز الأنيمومتر, أين تحسب عادة بالعقدة في الساعة والعقدة ترادف ما يسمى بالميل البحري وهو المسافة التي تشغلها الدقيقة الواحدة على خط الاستواء أو على أحد خطوط الطول و تساوي 1.15 ميل قياسي أو 1.84 كيلومتر .

أما اتجاه الرياح فيحدد بواسطة دوارة الرياح وتوجد منها عدة أنواع تشترك في أنها تحدد اتجاه الريح بواسطة ذراع يسهل تحريكه أفقياً، حيث يدل اتجاه مقدمته على الاتجاه الذي تهب منه الرياح [5]، هذا الأخير يعبر عنه الرصديون بزواوية تحسب إنطلاقاً من الشمال في منحى دوران عقارب الساعة . بحيث تسمى حسب اتجاه قدومها فهناك اتجاهات أصلية (شمالية , شرقية , جنوبية أو غربية) وأخرى فرعية (شمالية شرقية , جنوبية غربية) [16].

### 4-2-1 تمثيل الرياح في خرائط الرصد الجوي :

تتم الإشارة إلى سرعة الرياح في الرسم البياني للرصد الجوي بريشة تضاف إلى نهاية الذراع مع تقريب السرعة إلى أقرب 5 عقد قبل وضع الرسم البياني. بحيث تشير الريشة المنتصفة الطول إلى 5 عقد، بينما تشير الريشة الكاملة الطول إلى 10 عقد، أما السرعة التي تبلغ 50 عقدة فتظهر على شكل مثلث. يتم وضع الريشة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية على اليسار باتجاه رمز المحطة، أما في النصف الجنوبي فإنها توضع على اليمين ويتم استخدام رموز خاصة للإشارة إلى سكون الرياح كما يتم قياس العاصفة بالعقدة ووضعها عند أقرب عقدة كاملة لها بحيث تكون مسبقة بالحرف G فقط عندما تتجاوز 25 عقدة [16].

مركز الصافية	رموز سرعة واتجاهات الرياح في خرائط الطقس		مركز الصافية
الرياح التي تهب من الشمال الغربي عند عقدة ١٥		رياح هادئة	
<b>Key</b> 		الرياح التي تهب من الغرب عند عقدة ٧٥	$50 + 10 + 10 + 5$ 
 <b>الجهات الأصلية والغربية</b>	الرياح التي تهب من الشمال الشرقي عند عقدة ٢٥	الرياح التي تهب من الجنوب عند عقدة ٥	$10 + 5 + 10$ 

الشكل (2-1) : يوضح رموز سرعة واتجاهات الرياح في خرائط الطقس [17].

### 3-1 البيئة الصحراوية

#### 1-3-1 نشأة الصحاري:

تحتل البيئة الصحراوية مساحة تمتد إلى ثلث سطح اليابسة حول العالم. حيث تتراوح ما بين قاحلة و شبه قاحلة نسبيا، شاملة أقطاب الكرة الأرضية الشمالية و الجنوبية، فتسمى بالصحاري الباردة، وتضم تسمية (الصحراء) أي منطقة ذات غطاء نباتي معدوم مع ندرة في هطول الأمطار عليها[18]. تتكون الصحاري تحت تأثير عدد من العوامل الجوية التي تترك أثرا قاسيا على البيئة، فتؤدي عوامل التعرية وظروف الطقس و النشاط الإنساني إلى اتساع رقعة الصحاري، بحيث تكون هذه العوامل جميعها معادية تماما للبقاء النباتي و الحيواني، فتؤثر العوامل السابقة في هذه المناطق في انعدام الغطاء النباتي و ندرته، بالإضافة إلى انقراض و وفاة عدد كبير من الحيوانات، و تؤثر بتشكيل التضاريس و طبيعة المنطقة فتتكسر الصخور و تتفتت نتيجة التفاوت الكبير و الملموس بين درجات الحرارة خلال ساعات الليل والنهار[18].

#### 2-3-1 الخصائص الطبيعية للبيئة الصحراوية :

تتميز البيئة الصحراوية بمناخها الجاف، فيكون صيفها حار جدا و شتاؤها قارس البرودة إضافة إلى قلة هطول الأمطار و قساوة الظروف الجوية على النباتات و الحيوانات مما يؤدي إلى ندرة الغطاء

النباتي أو انعدامه أحيانا. كما تتسم تربتها بالجفاف فيكتسح سطح الأرض بحبيبات الرمل الناعمة نتيجة لكشط السطح الصلب لها بفعل الرياح مما تساعد على تشكل التجمعات الرملية فتؤدي إلى إلحاق الضرر بالمحاصيل الزراعية و الممتلكات الخاصة بالإنسان [18].

#### 4-1 الخصائص المورفولوجية والفيزيائية لحبيبات الرمل

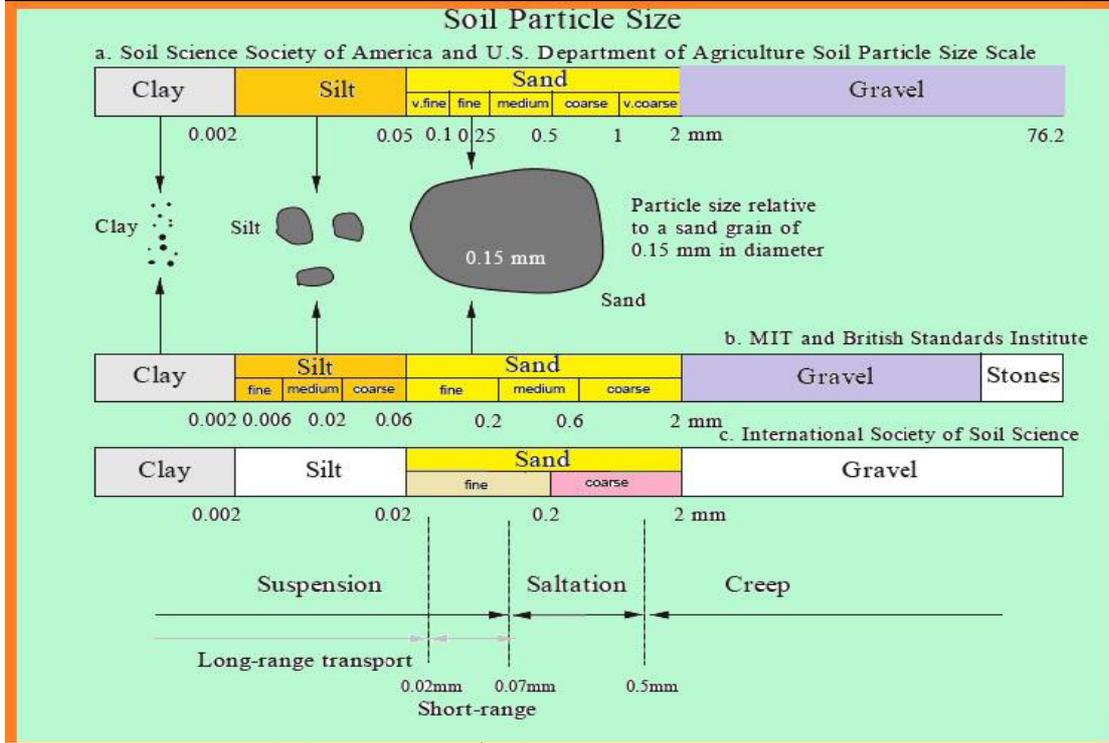
##### 1-4-1 تعريف الرمل:

من وجهة النظر الجيولوجية، الرمل مادة طبيعية عبارة عن خليط من الحبيبات الغير المتماسكة، أبعادها عموما بين 0.062 و 2 mm، يطلق على الجسيمات الفردية حبة رمل. تتكون رمال الكثبان بشكل رئيسي على معدن الكوارتز  $SiO_2$  وكميات قليلة من الشوائب والمعادن الثقيلة ونسبة معتبرة من أكسيد الحديد الثلاثي  $FeO_3$  و كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  ونسبة أكبر من أكسيد الألمنيوم  $Al_2O_3$  [7].

##### 2-4-1 أصناف حبيبات الرمل :

يتراوح قطر حبيبات الرمل من 0.062 إلى 2mm، أما الحبيبات التي يتراوح قطرها ما بين 2 و 64 mm تدعى الحصى، أما الحبيبات الأقل من الرمل فتدعى الطمي و قطرها يتراوح بين 0.004 إلى 0.0625 mm. تنقسم الرمال عادة إلى خمس فئات مختلفة حسب أبعادها (مقياس Krumbein) [7]:

1/16 – 1/8 mm	1- الرمل الناعم جدا
1/8 – 1/4mm	2- الرمل الناعم
1/4 – 1/2 mm	3- الرمل المتوسط
1/2 - 1 mm	4- الرمل الخشن
1 - 2 mm	5- الرمل الخشن جدا



الشكل (3-1): رسم تخطيطي يوضح مختلف أصناف حبيبات الرمل [10].

### 3-4-1 شكل حبيبات الرمل :

أثبتت دراسة (Gillette and Walker 1977) الفرق الشاسع بين الأشكال المختلفة لحبيبات الرمل، على الرغم من هذا إلا أنه يؤخذ اصطلاحاً الشكل الكروي كأبسط شكل لها في دراسة تصرفها الأيروديناميكي [10].

### 4-4-1 الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل :

خصائص حبيبات الرمل الحقيقية مماثلة بالتقريب للحبيبات الاصطلاحية ذات الشكل الكروي. وعليه تعطى معادلة نصف قطر حبيبة الرمل (اصطلاحاً كروي) على الشكل التالي [10]:

$$= \quad (2-1)$$

حيث : (kg/) الكتلة الحجمية للحبيبة، و (kg) كتلتها وعبارتها من الشكل:

$$= \quad (3-1)$$

ويمكن تلخيص باقي الخصائص بالجدول التالي :

**الجدول (1-1) :** يبين اهم الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل [10].

Symbol	Name	Definition	Formula
$d_m$	mass $d$	$d$ of S, same density & mass as P	$m = \rho_p \frac{\pi d_m^3}{6}$
$d_v$	volume $d$	$d$ of S, same volume as P	$V = \frac{\pi d_v^3}{6}$
$d_s$	surface $d$	$d$ of S, same surface as P	$s = \pi d_s^2$
$d_{sv}$	surface-volume $d$	$d$ of S, same external surface to volume ratio as P	$d_{sv} = d_v^3/d_s^2$
$d_a$	drag $d$	$d$ of S, same resistance to motion as P in a fluid with same viscosity & velocity	$F_D = \frac{C_D \pi d_a^2 \rho v^2}{8}$
$d_f$	terminal-velocity $d$	$d$ of S, same density & terminal velocity as P in a fluid of same density & viscosity	
$d_a$	projected-area $d$	$d$ of S, same projected area as P resting in a stable position	$A = \frac{\pi}{4} d_a^2$
$d_p$	projected-area $d$	$d$ of S, same projected area as P in random orientation	Mean of all possible $d_a$
$d_c$	perimeter $d$	$d$ of S, same perimeter as the projected outline of P	$L = \pi d_c$
$d_A$	sieve $d$	width of the minimum square aperture through which P will pass	
$d_F$	Feret's $d$	mean distance between pairs of parallel tangents to projected outline of P	
$d_M$	Martin's $d$	mean chord length of projected outline of P	

## 5-1 آليات النقل الريحي

### 1-5-1 طرق النقل الريحي :

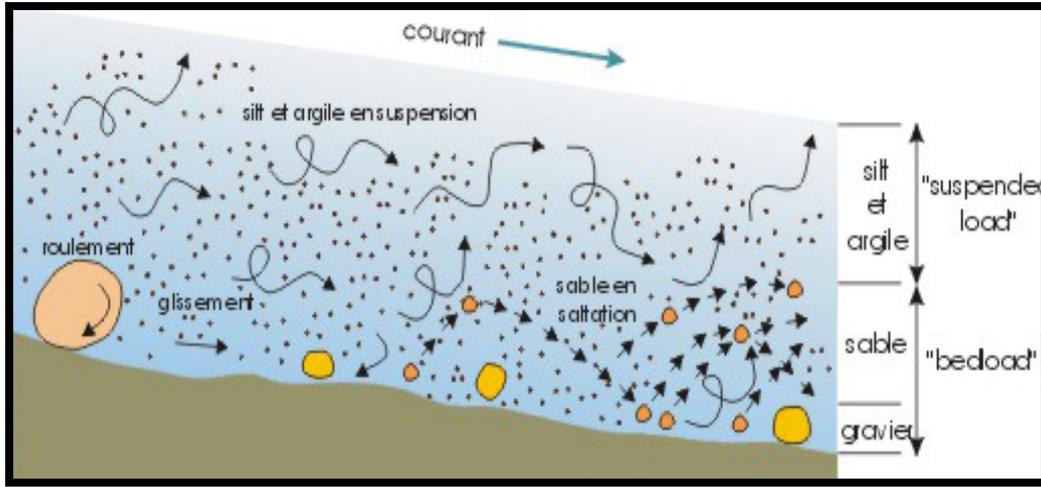
أ- **التدحرج:** يتم هذا النوع من النقل على سطح الأرض يخص الحبيبات ذات الحجم الأكبر من 5 ملم بحيث يتم فيه انتقال الحركة بالتصادم، تكون ذات فعالية أكبر في حالة ما إذا تمت فوق طبقة جرداء وجافة [6].

ب- **القفز :** تنتقل حبيبات الرمل على مسافة ما بين بعض الديسمترات إلى 2 م و ترتفع عن سطح الأرض بمسافة تتراوح ما بين ( 0.5 - 2م)، عند سقوطها فإنها تصطدم بحبيبات أخرى و هذا ما يجعل الحركة تنتقل من الحبيبات القافزة إلى الحبيبات المصطدم بها [6].

ج- **التطاير:** هو ارتفاع الرياح بالحبيبات الرملية نحو الأعلى و حملها في الهواء إلى أن تسقط بعد ضعف الرياح. تختلف مسافة الانتقال و مدتها حسب حجم الحبيبات، حيث نميز نوعين من التطاير [6].

\* النوع الأول: انتقال الحبيبات الرملية إلى مسافة عدة أمتار و ذلك في حالة الزوابع أين تسقط الجزيئات بعد ضعفها و تخص هذه العملية الحبيبات ذات القطر الأكبر من 0.08 ملم و الأصغر من 0.15 ملم [6].

\* النوع الثاني : تخص هذه العمليات الجزيئات ذات الأقطار من 0.05 ملم إلى 0.08 ملم، حيث تتواصل عملية التطاير في شكل غبار عالق بالهواء و قد تستمر هذه العملية لمدة تصل إلى أيام و أسابيع [6].



الشكل (4-1) : رسم تخطيطي يوضح طرق النقل الريحي [9].

## 2-5-1) فعل الرياح على حبيبات الرمل :

تنتقل الحبيبات في الغلاف الجوي بسرعة نسبية لتتعرضها قوة مقاومة مفككة بمركبتين، المركبة الأفقية : وهي تمثل قوة السحب والمركبة العمودية : وهي تعبر عن قوة تماسك الحبيبات وتعطيان بالشكل التالي [8] :

$$A \quad (4-1)$$

$$A \quad (5-1)$$

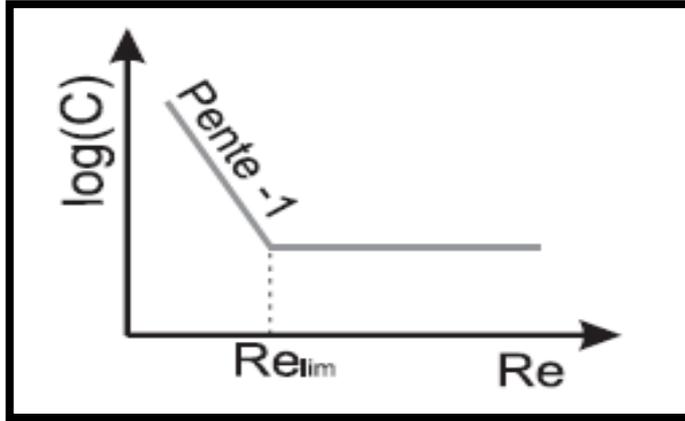
بحيث: A مجال سقوط الحبيبات على السطح .

و : هما ثوابت تابعة لطبيعة الجسم ولعدد رينولدز الذي عبارته من الشكل:

$$e \quad (6-1)$$

حيث : النصف القطر المميز للحبيبة. اللزوجة السكونية. اللزوجة الديناميكية الكتلة الحجمية للهواء.

من اجل التدفقات الصفائحية (الرقائعية) يوجد  $e$  ضعيف بحيث :  $C$  ومن اجل التدفقات المضطربة يكون  $e$  كبير و  $C$  ثابت ونضع :  $A$



الشكل (5-1) : تغيرات العدد  $C$  بدلالة عدد رينولدز [8].

إذن القوة المطبقة من الرياح على الحبيبات تكون من الشكل التالي :

المركبة الأفقية للرياح هي:

$$(7-1)$$

المركبة العمودية للرياح هي:

$$(8-1)$$

بحيث: مقلوب عدد رينولدز في الاتجاه الأفقي..مقلوب عدد رينولدز في الاتجاه العمودي.

هذه القوة المطبقة من الرياح على الحبيبات التي تكون أساسا بالجو، لكن التيارات الهوائية تطبق

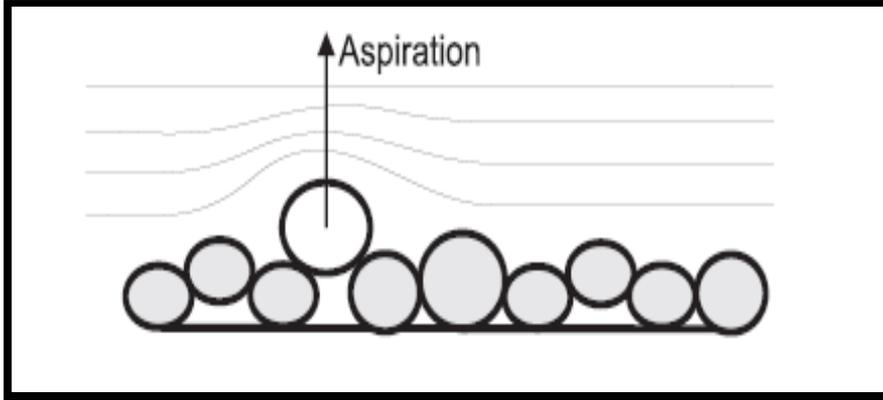
أيضا قوة سحب على الحبيبات الموجودة على السطح[8].

تتسارع الرياح بالرغم من خشونة السطح وهذا التسارع يتسبب في انخفاض جوي (حسب

معادلة برنولي ) فيؤدي هذا الأخير بالضرورة إلى سحب الحبيبات نحو الأعلى وهو سبب الحركة

الابتدائية لحبيبات السطح أساسا. أين يمكن إعطاء معادلة قوة السحب على الشكل التالي [8].

$$(9-1)$$



الشكل (6-1) : رسم تخطيطي يوضح التيارات الهوائية المحرصة لسحب حبيبات الرمل [8].

### 3-5-1 ديناميكا حبيبات الرمل:

تكون حبيبات الرمل دائما عرضة لعوامل التيارات الهوائية سواء وهي عالقة بالجو أو كانت متموضعة على السطح تنمذج معادلات حركتها مفككة بمركبتين أفقية وأخرى عمودية على الشكل التالي [8]:

المركبة العمودية للحركة هي:

$$+ g + = 0 \quad (10-1)$$

المركبة الأفقية للحركة هي:

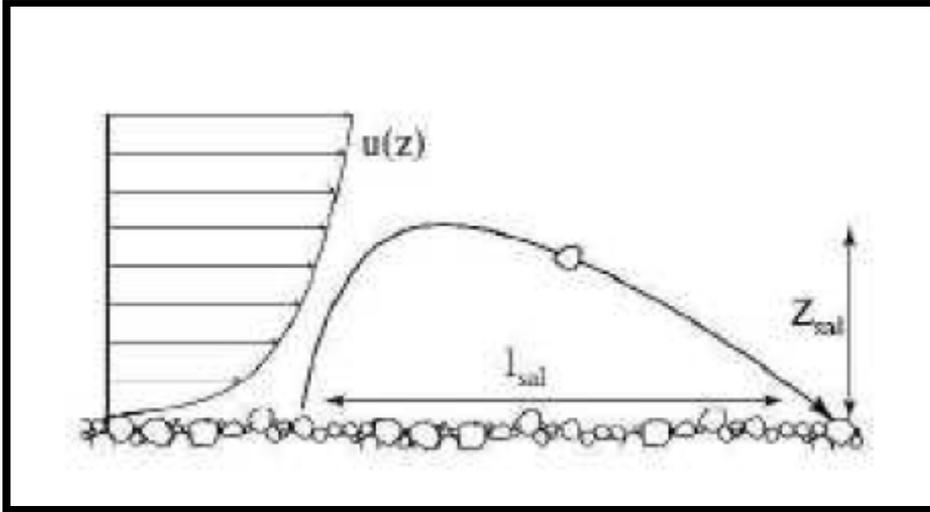
$$+ = 0 \quad (11-1)$$

لما تكون قوة مقاومة كبيرة للهواء يجب اعتبار أن سرعة الحبيبات هي سرعة نسبية بالنسبة للهواء، يمكننا أخذ التقريب التالي ، كما تكون هذه القوة مقاومة للسرعة النسبية وهذا ما يبين جملة التطورات المعقدة لديناميكية الحبيبات على مختلف المحاور [8].

لكن بما أن : يمكن تبسيط عبارة القوة بتفكيكها لمركبتين، المركبة العمودية : تسيطر عليها الجاذبية الأرضية (سقوط حر) أما المركبة الأفقية : تكون خاضعة لقوة الرياح وسرعتها .

نفرض حبة رمل تقذف بسرعة  $w$  بواسطة الرياح التي تهب بالسرعة ، في هذه الحالة تصبح لدينا معطيات عن زمن طيران الحبيبة بالجو والمدى والارتفاع تعطى على النحو التالي [8]:

نموذج تقريب " السقوط الحر" صالح في حالة كانت الجاذبية الأرضية قيمتها معتبرة وقوية لمقاومة الرياح .



الشكل (7-1) : رسم تخطيطي يوضح مسار قفز حبيبة رمل [8].

النسبة بين قوة انحراف الرياح وقوة الجاذبية تعطى بالشكل التالي :

$$1 \quad (12-1)$$

هذه النسبة هي التي تحدد تصرف الحبيبات بمواصلة حركتها بالجو أو أنها تسقط على سطح الأرض [8]

تتميز الرياح العمودية بضعفها مقارنة بالرياح الأفقية التي تكون قوية جدا لهذا يمكن إهمالها وعليه فإن تقريب السقوط الحر يبقى صحيح، لكن في نفس الوقت هذا التقريب غير صالح في حالة الرياح القوية جدا [8] .

يمكننا التحقق من حقيقة السرعة القوية للحبيبات بفعل قوة الرياح بالمعادلات التالية :

زمن تسارع الحبيبات بفعل الرياح هو :

$$(13-1)$$

بحيث :

<<

وعليه يمكننا وضع 3 وسائط بدلالة :

$$= \ln ( ) = \xi \quad (14-1)$$

تؤخذ :

حيث :  $\ln ( ) = \xi$

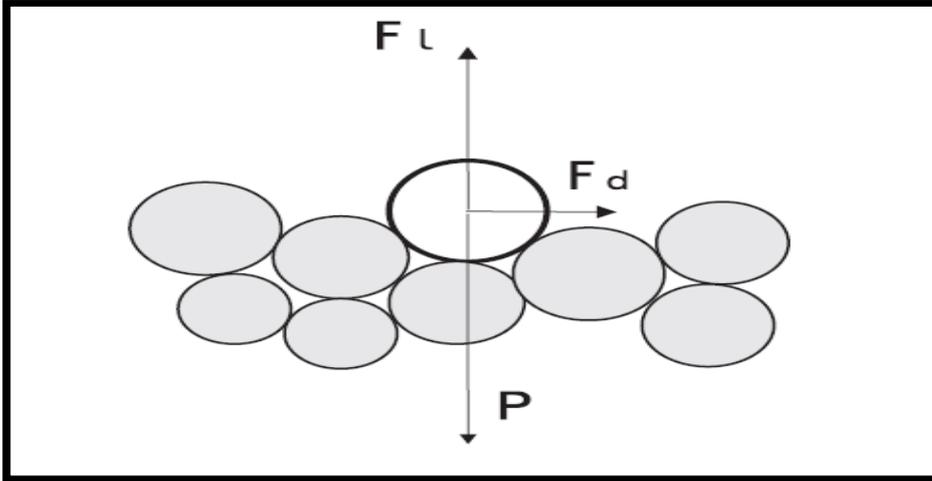
تعطى معادلات زمن بقاء الحبيبة عالقة بالجو ومدى سقوطها على الأرض وارتفاعها بدلالة الاضطراب على الترتيب على النحو التالي [8] :

#### 4-5-1 تأثير حبيبات الرمل على الرياح :

يحدث القفز نتيجة طاقة الرياح التي تحرضها على القفز، هذه الحبيبات القافزة تتصادم فيما بينها وهي بدورها تحرض حبيبات أخرى على القفز. تحدث هذه الأخيرة بالضرورة على تخفيض سرعة الرياح في طبقة القفز (حوالي 5 سم) هذا التناقص يرجع لفعل القفز المتتالي للحبيبات. إذن الرياح وقفز الحبيبات عاملان يؤثر كل منهما على الآخر [8].

#### 5-5-1 القوى المأثرة على حبيبات الرمل :

تخضع حبيبة الرمل وهي على السطح إلى قوة الثقل  $P$  ورد الفعل  $R$  وقوة التجاذب مع الحبيبات المجاورة لها، بالإضافة إلى قوة الرياح بمركبتها: و . حين تتساوى قوة الثقل ورد الفعل وقوة الرياح تكون حبيبات الرمل في حالة استقرار وحين تتغلب إحدى هذه القوى على الأخرى فإنها حتما ستكون في حالة اضطراب [8].



الشكل (8-1) : رسم تخطيطي يوضح محصلة القوى المأثرة على حبيبة الرمل [8].

باعتبار أننا في طبقة الرمل الناعم فإنه من الصعب اقتلاع حبة الرمل بهذه الطبقة والشرط الأساسي لاقتلاعها هو التوازن بين قوة الثقل  $P$  والقوة والتي تعطى كشرط لسرعة قص الرياح وعبارتها من الشكل [8].

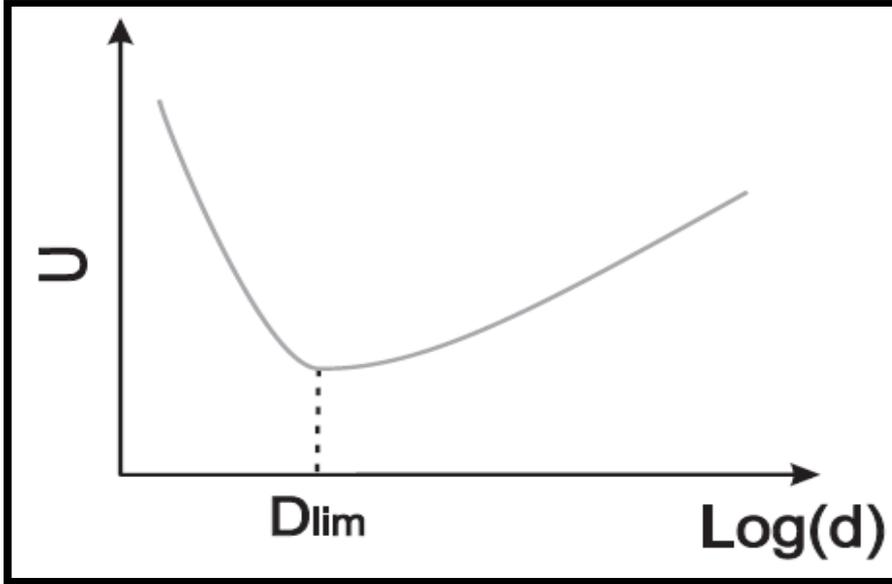
(15-1)

من أجل قوة الجاذبية ذات القيمة المعتبرة لا يمكننا إهمال قوة الطفو، لكن في حالة النقل الريحي تهمل قوة الطفو في حالة فقط إذا كانت: >>

: هي سرعة انحراف الحبيبات بالرياح و هي تتعلق ب: وتكون هذه العلاقة غير صالحة في حالة الحبيبات الدقيقة جدا. فمن أجل الحبيبات الدقيقة جدا يلعب ترابطها ببعضها البعض دورا هاما ولا يمكن إهماله لمختلف الأسباب التالية [8]:

- سطح التبادل لوحدة الحجم يكون كبير جدا .
- المسافات القصيرة تفضل قوى التجاذب الكيميائية أو الالكتروستاتيكية الضعيفة .
- العدد المتوسط للحبيبات المجاورة يكون كبير جدا .
- تتأثر بشدة بالعوامل المحيطة بها كالرطوبة على سبيل المثال، ففي هذه الحالة قوة الرياح يجب أن تتعادل قوة الارتباط أولا مع قوة الجاذبية .

عموما القوة تتعلق ب:  $1/$ ، إذن من أجل الحبيبات الصغيرة السرعة تتعلق بالقانون التالي [8]:



الشكل (9-1) : تغيرات سرعة العتبة بدلالة الحجم المميز لحبيبة الرمل [8].

من أجل تعريف الحجم المحدود للحبيبات يجب أولاً تبيان كيفية تصرفها وهو ما يعني سيطرة قوة الجاذبية أو قوة الترابط فيما بينها وتحديد العلاقة المضبوطة بين هاتين القوتين، وهو ما يعني أخذ الحجم المحدود : عدة ميكرومترات ، هذا الحد يبين بوضوح طبيعة الرمل وخصائصه [8].

### 6-5-1 العتبة الديناميكية :

تتصادم الحبيبات بشكل مفاجئ بالقفز بسلاسة وتكون خاضعة لحركة الهواء دون أن تتوقف عملية النقل وعليه نعرف متغير جديد هو سرعة العتبة الديناميكية التي عندها تتوقف الحركة، كما يمكن لسرعة الرياح أن تفوق أو تقل عن العتبة الديناميكية وهي ذات أهمية كبيرة في دراسة النقل الريحي للرمال ولمعرفة خصائص الاصطدام [8].

لما تصطدم الحبيبات فإنها ترتد لكنها حتماً ستصطدم في الأخير بحبيبة أخرى موجودة بطبقة الرمل، إن دراسة التصادمات مرتبطة بـ :

1- سرعة الارتداد تكون جزء من سرعة الاصطدام مع أخذ:

وعليه فإن الحبيبة تفقد حوالي 80% من طاقتها وقياس الارتداد يرجع لطبوغرافية جهة الاصطدام .

2- التصادم يشمل عدد كبير من الحبيبات وفي كل الاتجاهات وبارتفاعات كافية تصل إلى

القفز . أما الطاقة الكلية للحبيبات المقذوفة لا تزيد عن 10% من طاقة التصادم، والباقي من هذه

الطاقة يمتص بطبقة الرمل التي تعتبر كوسط لتبديد الطاقة [8] .

تعتبر حبيبة الرمل الموجودة بطبقة الرمل موجودة داخل بئر كموني عمقه ، إذن السرعة الضرورية لإخراجها من هذا البئر هي ، يمكننا إذن افتراض أن سرعة العتبة الديناميكية تتناسب مع جذر السرعة تعطى عبارتها على الشكل التالي:

(16-1)

بعض الدراسات في هذا الميدان بينت أن قيمة الثابت يأخذ تقريبا القيمة [8].

## الفصل الثاني

مورفو ديناميكية الكثبان الرملية

تتشكل الرمال و الصخور الرملية في ظروف مختلفة بفعل عوامل متباينة، حيث تتواجد في كافة البيئات الترسيبية، القارية والبحرية بمواصفات تعكس خصائص هذه البيئات فالرمال القارية تغطي حوالي 30% تقريبا من الغطاء الرسوبي للقشرة الأرضية فيما تتموضع الرمال القارية ذات البيئة الترسيبية الصحراوية (الكثبان الرملية) بمعدلات مختلفة في العالم، كما تغطي الكثبان الرملية حوالي 18% من صحراء إفريقيا والتي تعتبر الجزائر أكبر دولها مساحة.

## **1-1-1-1) الكثبان الرملية**

### **1-1-1-1) تعريف الكثبان الرملية :**

هي كتل من الرمال تكون متجانسة أو غير متجانسة لونها إما أن يكون أصفر فاتح لوجود معدن الكوارتز وعدم وجود المواد العضوية، أو بني محمر لوجود أكسيد الحديد. هذه الرمال تحركها الرياح ثم تلقيها هنا وهناك مشكلة كثباناً رملية تغطي مساحات كبيرة من الأرض تكثر خصوصا في المناطق الصحراوية [11].

### **1-1-1-2) عوامل تكوين الكثبان الرملية :**

توجد مجموعة من العوامل التي تساعد على تكوين الكثبان الرملية و تطورها، من أهمها نذكر ما يلي :

**1- الرياح :** التي تعتبر العامل الرئيسي في انجراف التربة فحبيبات الرمل تبدأ حركتها عندما تتراوح سرعة الرياح ما بين 9- 12 كم /ساعة [11].

**2- توافر مصادر الرمال :** كلما كانت كميات الرمال متواجدة بكثرة على سطح الأرض كلما زاد احتمال

تكوين الكثبان الرملية، هذه الرمال التي تميز سطح الأرض مصدرها الأساسي هو أنواع الرواسب التي نذكر منها :

- الرواسب المفككة وتتضمن الرواسب الشاطئية والرواسب التي جلبتها السيول.
- الرواسب المتماسكة وتشمل الأحجار الرملية وهي المصدر الأساسي في عمليات الحت للسلاسل العملاقة [11].

**ج- خصائص طبوغرافية :** تمهيدا لتكوين الكثيب يلعب شكل السطح دورا مهما، حيث توجد أماكن ذات طبيعة خاصة من القشرة الأرضية مهياة لحركة الرمال و أكثر احتمالا لاستقرارها، فنجد أن المناطق المنخفضة ذات البقايا الصخرية و الأعشاب والشجيرات المتفرقة يمكنها حجز الرمال لتكوين كثيبات رملية خاصة عندما تقل سرعة الرياح [11].

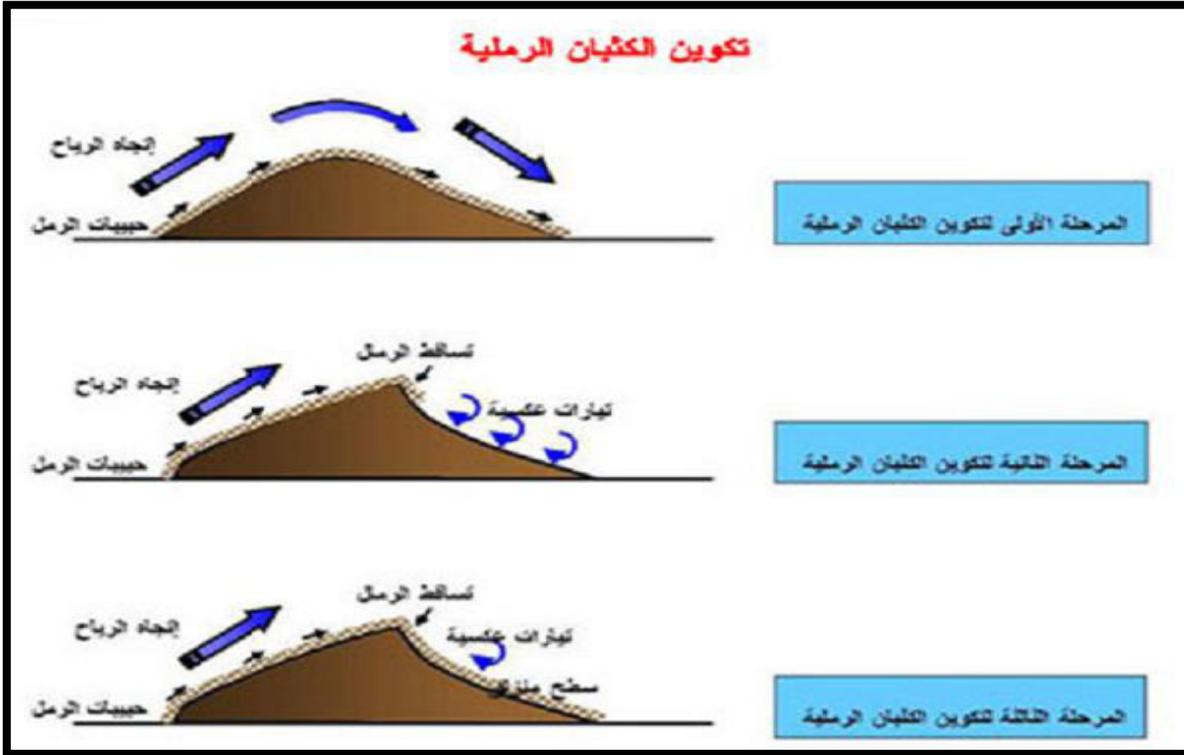
### 3-1-II) نشأة الكثبان الرملية :

تتكون الرمال نتيجة لعوامل التعرية و المتمثلة في تفاعل الصخور الصحراوية مع درجات الحرارة العالية وهبوب الرياح المتواصلة، مما يؤدي إلى تفكيك الصخور وتفتتها إلى حبيبات رملية مختلفة الأحجام والأشكال. يمر تكوّن الكثيب بالمراحل التالية :

**1- المرحلة الأولى :** عندما تضعف قوة الرياح تنساقط حملتها من الرمال متجمعة فوق بعضها وتتراكم عادة على الجانب المواجه لاتجاه الرياح، فيبقى بعضها في أعالي الكثيب ليترسب هناك أما بعضها الآخر فيتدحرج على الجانب المظاهر للرياح، وتحدث عملية تدحرج حبيبات الرمل وتزحلقها نتيجة الجاذبية الأرضية، بالتالي تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه لهبوبها، حيث يتراوح انحدار الجانب المظاهر بين 20-30 درجة وعلى ذلك أول مراحل تكوين الكثيب، فتتجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر منه فوق الجانب المظاهر لها، وبالتالي يزداد ارتفاع الكثيب تدريجياً [11].

**2- المرحلة الثانية :** تنحدر الرمال من أعالي الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية أسفل الجانب المظاهر لاتجاه الرياح وتكوّن انحداراً شديداً إذا ما قورن بدرجة انحدار السطح المواجه لاتجاه الرياح، كما يوضح الشكل (1-II) [11].

**3- المرحلة الثالثة :** يظهر الاختلاف واضحاً بين كل من الانحدار البسيط المواجه للرياح والانحدار الشديد المظاهر لها، إذ تتجمع الرمال على الجانب الأول فوق الأعالي وتنحدر تدريجياً بفعل الجاذبية على الجانب الآخر، الذي يتميز بتأثره لفعل الدوامات الهوائية، ثم إن الرياح تساعد على تكوين فجوة عميقة في ظهر الانحدار وبذلك يبدو هذا الأخير على شكل مقعر ويكتسب لنفسه ذراعين طويلين يمتدان مع اتجاه الرياح، كما يوضح الشكل (1-II) [11].



الشكل (1-11) : رسم تخطيطي يوضح أهم مراحل تكون الكثبان الرملية [11].

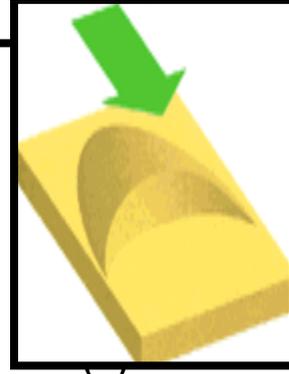
## 4-1-1-11 الأشكال المورفولوجية للكثبان الرملية :

إن العوامل البيئية التي تعمل علي ترسيب الرمال وخاصة سرعة و اتجاه الريح، القرب أو البعد من مصدر الرمال، حالة الغطاء النباتي ووجود الحواجز الطبيعية من صخور وبقايا النباتات تحدد الشكل الهندسي العام للكثبان الرملية .

### 4-1-1-11 أشكال ناتجة عن اتجاه واحد للرياح :

#### 1- الكثبان الرملية البرخانية : يكون تكوينها هلالياً الشكل ومحدباً له شكل ثنائي السطح

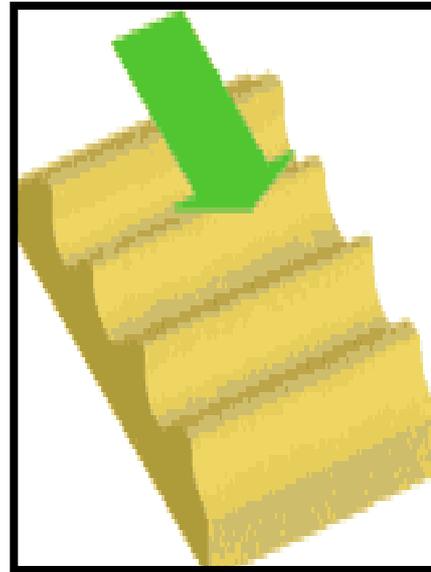
في مقطعه يكون سطحه المقابل للرياح ذو انحدار مندرج، في حين أن سطحه المعاكس للرياح فإن انحداره شديد بحيث تتكون هذه الكثبان على عدة مراحل. لا يبقى البرخان منعزلاً عادة، بل يكون مندمجاً مع غيره ليكون في النهاية مجموعات متشابكة نوعاً ما، لتتحول في الأخير إلى سلسلة أو مجموعة حقيقية من الكثبان، عادة ما يتراوح طول هذه الكثبان أو التلال الرملية الهلالية الشكل بين 100 إلى 500 متر [11].



الشكل (II-2) : ( أ ) رسم تخطيطي يوضح كتيب رملي برخاني [9].  
( ب ) صورة لبرخان حقيقي [11].

## 2- الكثبان الرملية العرضية المموجة : هي كثبان رملية هلالية الشكل ولكنها محدبة

في اتجاه الرياح، تتكون على الأسطح المستوية مكونة نوعين أو شكلين، إما ترسيبية أو انجرافية، أي ناتجة عن الانجراف وبالتالي تكون الكثبان العرضية المموجة التي تحل محل البرخانات في حالة التحرك لتنتقل هذه الكثبان من منطقة جافة ذات تربة عارية إلى منطقة ذات غطاء نباتي [11].

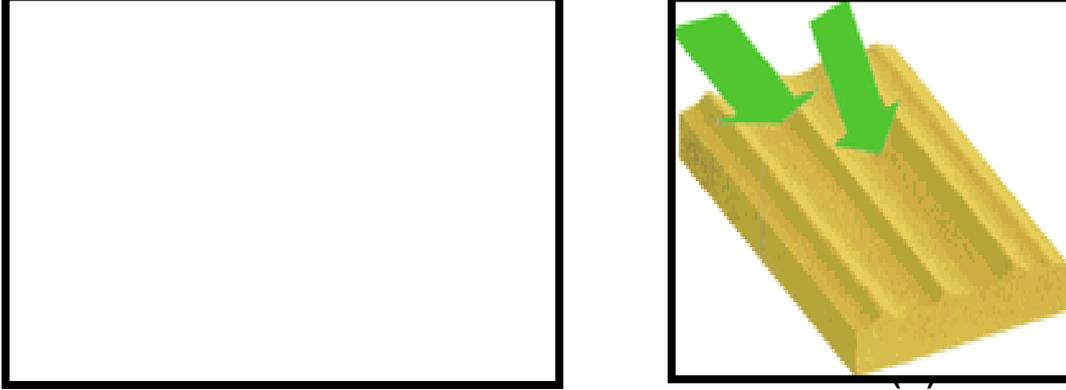


( أ )  
الشكل (II-3) : ( أ ) رسم تخطيطي يوضح كثبان رملية مموجة عرضية [9].  
( ب ) صورة حقيقية لكثبان رملية مموجة عرضية [11].

## II-2-1-4) أشكال ناتجة عن اتجاهين للرياح :

**كثبان السيف الطولية:** تتميز أنماط الرياح المتقطعة التي تغير اتجاهها عادة تبعاً لوجود حواجز تضاريسية مثل الجبال. تتكون هذه الكثبان في حالة وجود تيارات حمل هوائية ذات الاتجاهين العرضية

والمتعادمة، بحيث تكون بشكل يشبه حد السيف ممتدة باتجاه الرياح و تعد أطول أنواع الكثبان الرملية حيث يصل طولها من 0.5 إلى 5 كم [11].

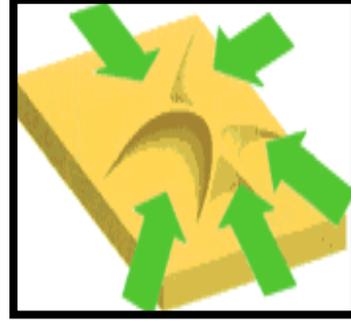


الشكل (4-II) : ( أ ) رسم تخطيطي يوضح كثبان رملية سيفية طولية [9].

( ب ) صورة حقيقية لكثبان رملية سيفية طولية [11].

### II-3-1-4 أشكال ناتجة عن اتجاهات متعددة للرياح :

**الكثبان الرملية النجمية أو الهرمية:** يعتقد أن هذا النوع من الكثبان الرملية يتكون نتيجة لهبوب الرياح في اتجاهات عديدة. إذاً تتكون في حالة تيارات حمل هوائية غير محددة الاتجاه أو متعددة الاتجاهات فالشكل الأساسي للكثبان الرملية النجمية الهرمية هو شكل هرم له ثلاثة أذرع على الأقل ويشير وجود هذه التراكيب النجمية عادة إلى عدم ثبات النوع السائد من الرياح في اتجاهاتها وعموماً فإن الكثبان الرملية النجمية الهرمية تمتد بداية من القمة التي يصل ارتفاعها إلى 300 متر وتعطي الشكل الهرمي الثابت أحياناً تكون هذه الأخيرة في عدة صفوف بحيث تشكل سلسلة أو تكون عبارة عن حروف بارزة من الرمل ويكون لها مركز وسطي مرتفع عنها ذو ثلاثة أحرف في اتجاهات مختلفة، مكونة شكلاً يشبه شكل النجمة [11].



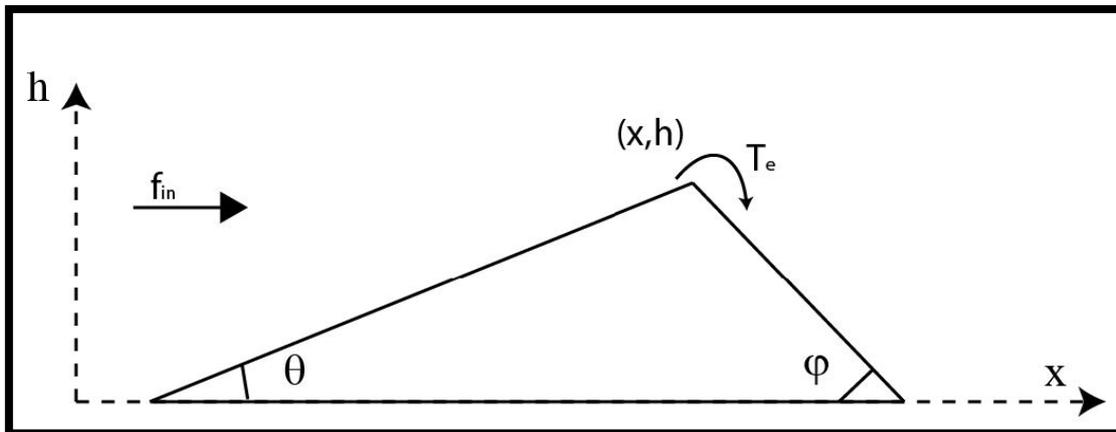
( أ )  
الشكل (5-II) : ( أ ) رسم تخطيطي يوضح كتيب رملي نجمي [9].  
( ب ) صورة حقيقية لكتيب رملي نجمي [11].

## 2-II) نمذجة مورفو ديناميكية الكتيب

### 1-2-II) نموذج نيبيا و آل ( Niiya et al 2010 ) :

يعالج هذا النموذج حالة مورفولوجية الكتيب الأصلية قبل تأثير فعل الرياح السائدة عليها. حيث اعتبر شكل الكتيب مثلث وانحدار الواجهة والظهر ثابتين ومميزين بزوايا محددة و، عليه يكون مقطع الكتيب على نحو فريد ومميز يحدد من وضعية قمته  $x$  وارتفاعه  $h$  و به ينشأ الكتيب بمتغيرين مستمرين اثنين هما :  $h(y,t)$  و  $x(y,t)$ ، بحيث  $y$  : الوضعية الجانبية للمقطع ،  $t$  : هي الزمن ، كما نعرف ثوابت قياسية مميزة للكتيب هي :  $A, B, C$  على النحو التالي [12] :

$$A=1/10 ; B=4/5 ; C=1/5 ; = ; =$$



الشكل (6-II) : مقطع لكتيب يوضح تدفق الترسيب للجهة المواجهة للرياح و المظاهرة لها و علاقة تدفق الترسيب على قمة الكتيب بقيمة الالتقاط للجهة المظاهرة للرياح [12].

### 2-2-II) تدفق حبيبات الرمل على قمة الكتيب :

نعتبر  $q$ : تدفق حبيبات الرمل على قمة الكثيب يعتمد أساسا على قوة الرياح وعلى انحدار الجانب المواجه للرياح بحسب ( Jackson et Hunt 1975 ), تعطى معادلة التدفق على الشكل التالي [12]:

$$(1-II) = (1+)$$

بحيث:

$$(2-II)$$

بحيث: التدفق السائد على السطح ويتعلق بسرعة الرياح، هو معامل إرجاع التابع لسرعة الرياح مع الانحدار، عدد شلدر الموافق للتدفق على سطح مستوي، عدد شلدر المقاس عند بداية الحركة المميز للوسط الحبيبي و: تدفق ترسب مرجعي .

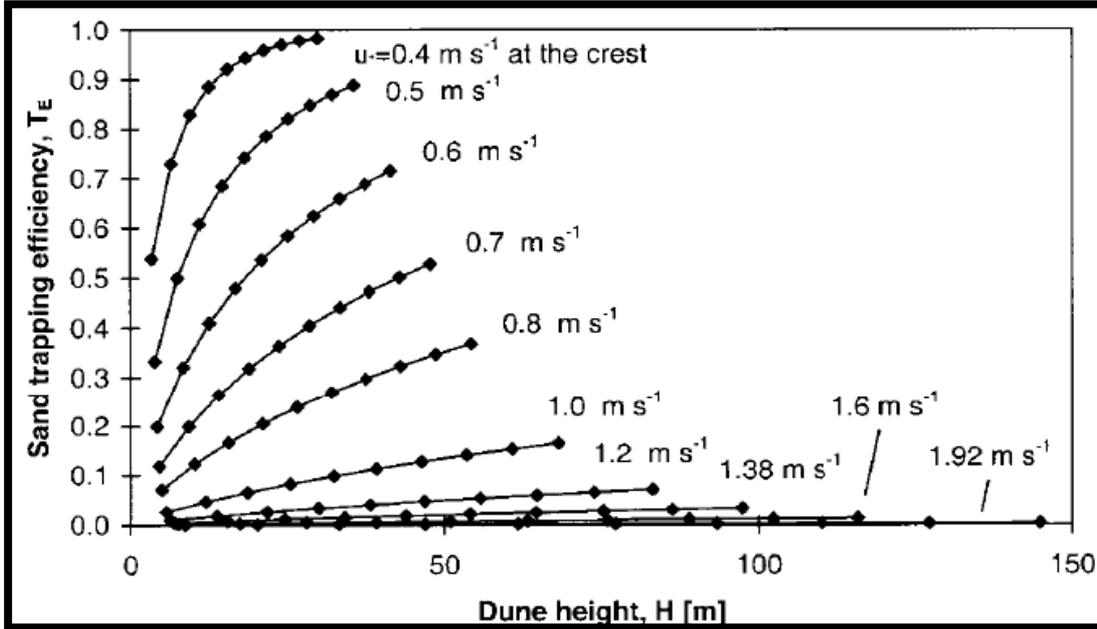
في نماذج أخرى تؤخذ فقط فرضية ثبات انحدار الجانب المواجه للرياح وأن التدفق على قمة الكثيب لا يتعلق بالوسط الحبيبي ولا بسرعة قص الرياح على السطح المستوي على الجانب المواجه للرياح ولا بارتفاع الكثيب [12].

### 3-2-II) قيمة التقاط الكثيب لحبيبات الرمل :

الترسب الحادث على قمة الكثيب يقع في مصيدة الجانب المظاهر للرياح، حيث تظهر أهمية قيمة التقاط الكثيب في أنها تحدد منطقة الترسب، فمن أجل  $1 =$  تعني أن كل الترسب الموجود على قمة الكثيب يكون بالجهة المظاهرة للرياح، أما إذا كان  $0 =$  يعني أن الترسب قد غادر الكثيب و يكون خارجه [12].

قد أثبت كل من ( Momiji et Warren 2000 ) مدى تعلق قيمة الالتقاط بسرعة الرياح على الجانب المواجه لها وبارتفاع الكثيب، وقد استأنف نموذج ( Anderson 1988 ) الذي حلل تدفق حبيبات الرمل على الجانب المظاهر للكثيب على حسب تدرج حبيبات الرمل، فمن أجل استخلاص العبارة الحسابية لقيمة الالتقاط نقوم بحسابات عددية تتدخل في قيمة الالتقاط المتزايدة بسرعة مع ارتفاع الكثيب من أجل سرعة احتكاك ضعيفة على قمته، لكن في حالة كانت سرعة القص قوية على القمة تكون

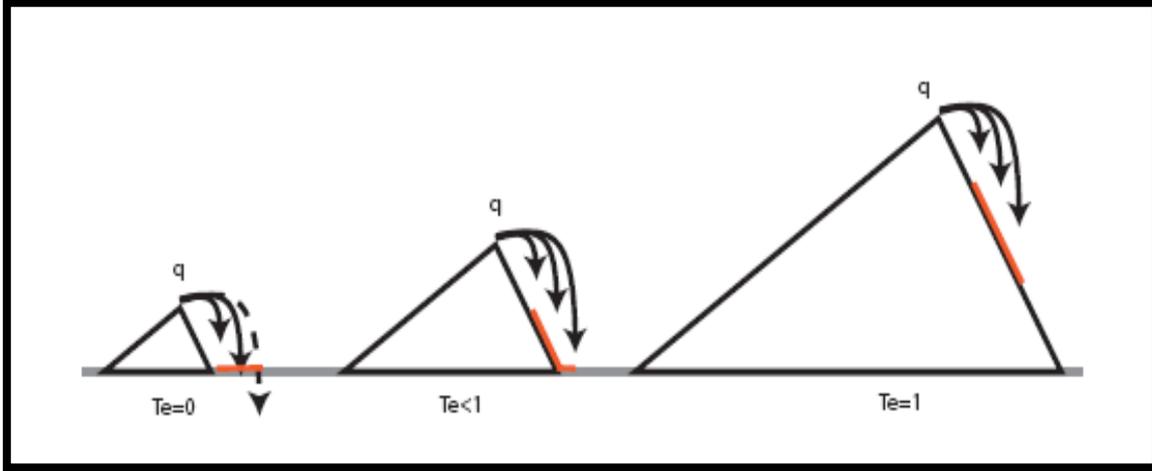
قيمة الالتقاط قريبة للصفر ( 0 ) ولما تكون قيمة الالتقاط معدومة يعني أن الكثيب قد تآكل نهائياً ودراسته أصبحت مستعصية [12].



الشكل (II-7) : تغيرات قيمة التقاط الترسبات على الجانب المظاهر للرياح للكثيب بدلالة إرتفاعه من أجل سرعات قص مختلفة على قمة الكثيب على حسب تجربة Momiji et Warren 2000 [12].

#### 4-2-II علاقة قيمة ترسب حبيبات الرمل بارتفاع الكثيب :

من أجل كثبان مختلفة الحجم وبنفس الظروف يمكن اعتبار أن الترسب المنقول يأخذ تقريبا نفس تدرج السرعة على القمة بحيث تتبع الحبيبات مسار معين، كما تزيد المسافة المقطوعة بحسب زيادة السرعة على القمة، فمن أجل تدرج سرعة على قمة معينة تتشكل منطقة لترسب الحبيبات على مسافة ثابتة منها كما توجد عتبة حجم تبدأ منها منطقة الترسب التي تتضمن بالجانب المظاهر للرياح بالكثيب، إذن نستخلص أن قيمة التقاط الترسب تنزايد بزيادة ارتفاع الكثيب [12].



الشكل (8-II) : يوضح علاقة قيمة التقاط الكثيب مع ارتفاعه من أجل نفس سرعة القص و نفس تدفق الترسيب على القمة [12].

اعتمد نموذج ( Niiya et al 2010 ) لدراسة تطور الكثيب على علاقة قيمة الالتقاط التالية :

$$(3-II)$$

حيث : ارتفاع الكثيب. : الارتفاع الحرج المميز للكثيب المؤدي إلى قيمة التقاط مشبعة و هناك حالتين حديتين مميزتين له [12].  
من اجل ارتفاع ضعيف:

$$(4-II)$$

من اجل ارتفاع كبير:

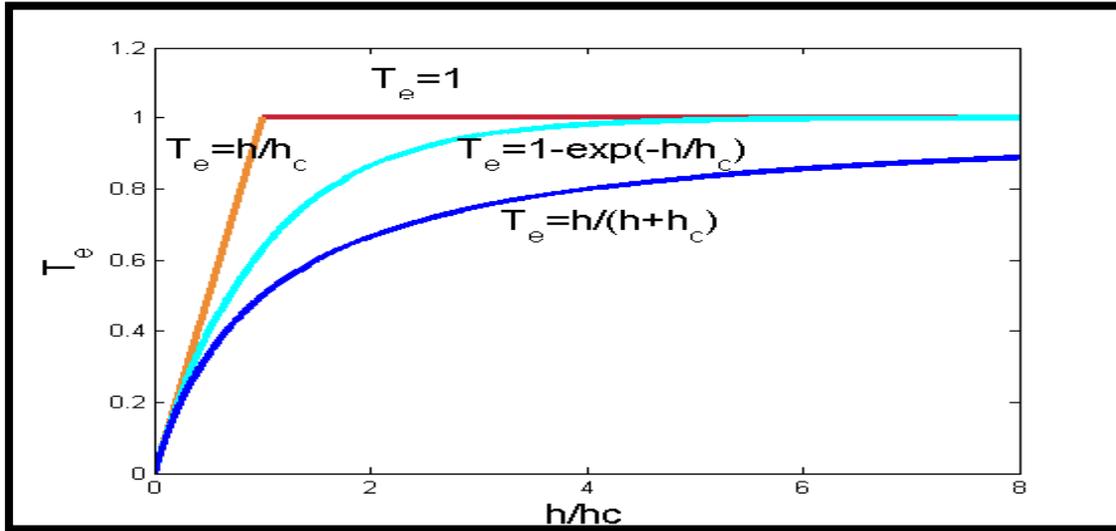
$$(5-II)$$

إن كبر أو صغر ارتفاع الكثيب متعلق بالارتفاع الحرج ، فبعد تحليل ( Momiji et Warren 2000 للارتفاع المميز تبين مدى تعلقه بسرعة قص الرياح على قمة الكثيب، وعليه تزداد سرعة القص على قمة الكثيب بزيادة الارتفاع [12].

**(5-2-II) العلاقة بين انحدار الجانب المواجه للرياح و تدفق الحبيبات على القمة :**

تزداد زاوية الجانب المواجه لاتجاه الرياح بزيادة ارتفاع الكثيب وكذلك التدفق على القمة، على عكس قيمة التقاط الترسب التي تتناقص مع قص الرياح و التدفق، إذن تتناقص قيمة التقاط الترسب مع ارتفاع الكثيب لما يتعلق ميل الجانب المواجه للرياح بارتفاعه [12].

قصد تقدير قيمة الالتقاط لتحليل الاستقرار الخطي للكثيب سنفترض وجود دالة تسيطر على ارتفاعه، المنحنى البياني التالي يوضح أمثلة على ذلك :



الشكل (9-II) : منحنيات بيانية لعلاقات مختلفة تتعلق بقيمة الالتقاط بدلالة التقاط الكثيب /الارتفاع الحرج [12].

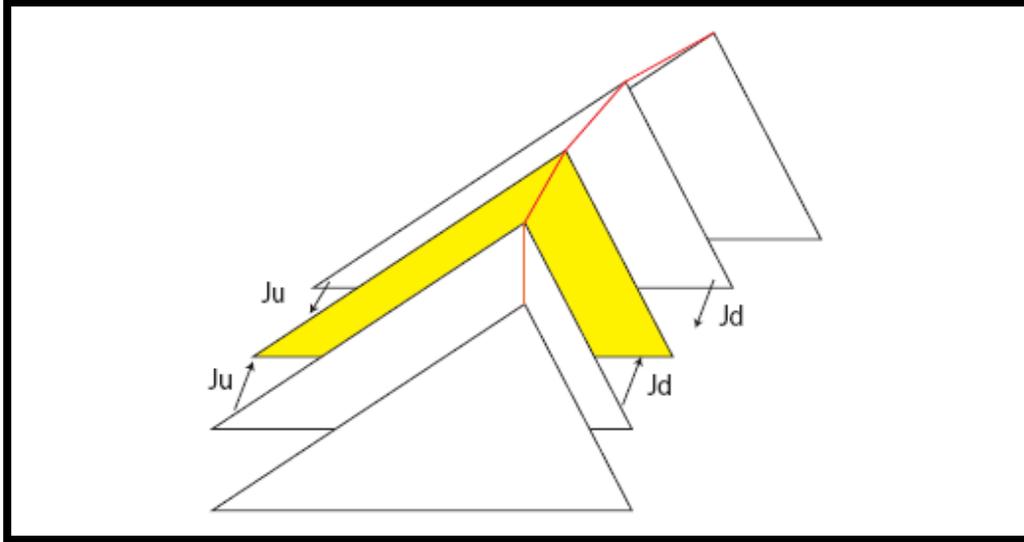
## 6-2-II النقل و الترسب على جانبي الكثيب :

من اجل توضيح النقل والترسيب على جانبي الكثيب الجانب المواجه للرياح و الجانب المظاهر لها نعرف متغيرين اثنين هما : (التدفق الخاص بالجانب المظاهر للرياح) و (التدفق الخاص بالجانب المواجه للرياح) فهذين التدفقين يتعلقان بميل الكثيب وتدرج ارتفاعه. وبحسب نموذج (Niiya et al 2010) فإن التدفق المترسب على جانبي الكثيب يتناسب و مختلف الارتفاعات والانحدارات المجاورة لها لذا يمكننا نمذجة هذين التدفقين بالمعادلات التالية [12]:

$$(6-II)$$

$$(7-II)$$

بحيث : معامل متجانس مميز لانتشار الترسب على الجانب المواجه للرياح بالكثيب، معامل متجانس مميز لانتشار الترسب على الجانب المظاهر للرياح بالكثيب. و معاملات جيومترية معرفة سابقا [12].



الشكل (10-II) : مخطط يوضح تحول وانتقال الترسب بمقطع الكثيب [12].

## 7-2-II معادلات إنحفاظ الكتلة (المادة) :

تتمذج حصيلة تبادل المادة بمقطع الكثيب الناشئ بفعل الرياح من اجل الإحداثية و الارتفاع المتعلقين بالزمن بالمعادلة التالية :

$$(8-II)$$

$$(9-II)$$

حيث : هي الوضعية الأساسية قبل نشأة الكثيب، : مساحة مقطع الكثيب، التدفق (الترسبي) الخاص بالجانب المواجه للرياح ونضيف العلاقات الجيومترية التالية [12] :

$$(10-II)$$

$$(11-II)$$

و عليه نجد :

(12-II)

(13-II)

ندخل عليها متغيرين لا بعديين هما :

و بحيث : ثابت يظهر نتيجة الانتشار على الجانب المواجه للرياح بالنسبة للتدفق الترسبي على قمة الكثيب، : يمثل الشدة النسبية للتدفق الجانبي، و عليه نكتب معادلات إنحفاظ الكتلة ( المادة ) على الشكل التالي [12] :

(14-II)

حيث: و معاملات تأخذ القيم التالية :

::

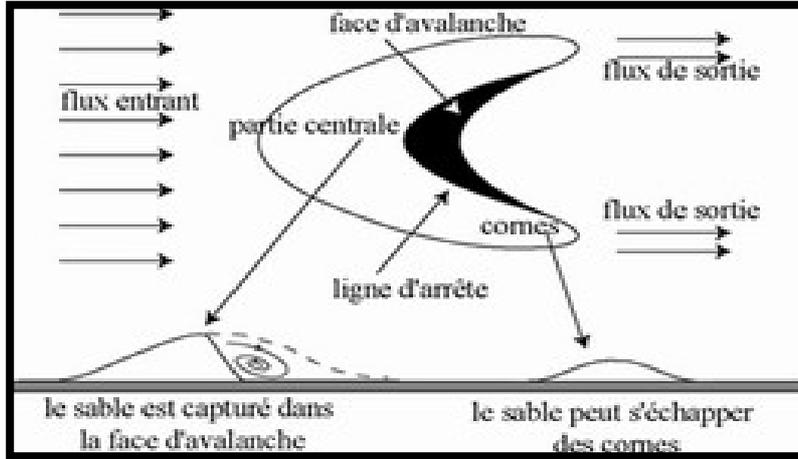
و المصفوفة على الشكل التالي :

$$M_0 = \begin{pmatrix} C + B\rho & \frac{BC}{A} (\rho - 1) \\ A(\rho - 1) & B + C\rho \end{pmatrix}$$

### 3-II) الكثبان الرملية من نوع البرخان

#### 1-3-II) البرخان :

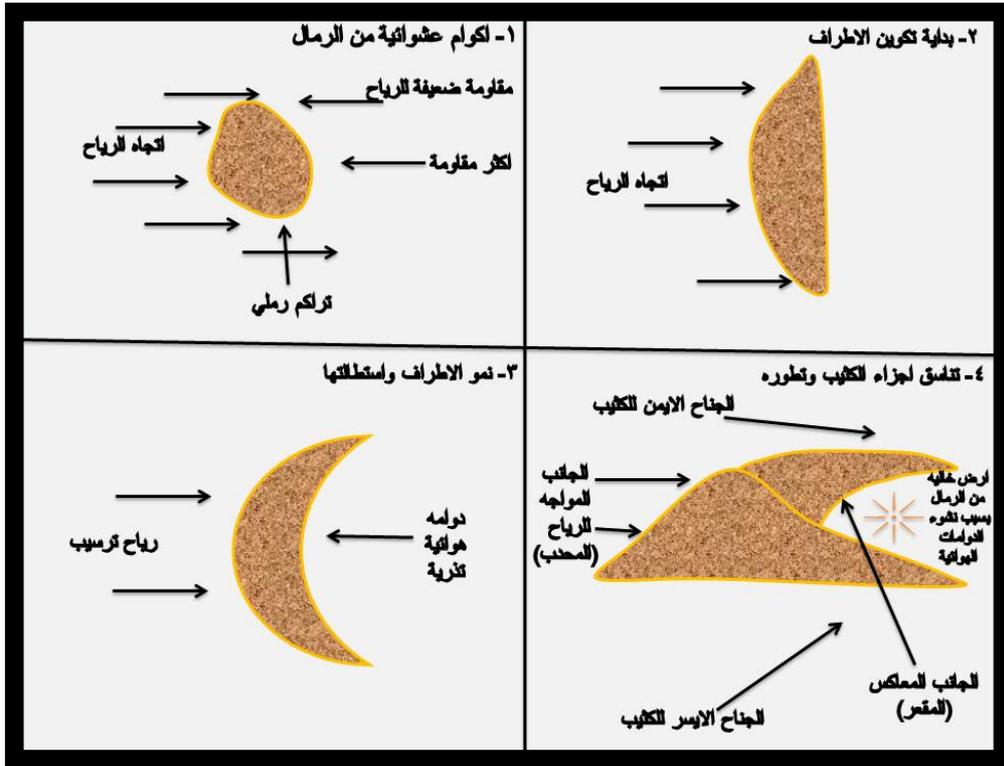
هي نوع من الكثبان الرملية الهلالية الشكل المتشكلة بفعل الرياح ذات الاتجاه الواحد كما تتميز بذراعين ممتدين باتجاه التدفق (الرياح) وعدم تأكلها وقيمة ترسب قليلة خاصة في مواسم نشاط الرياح [12].



الشكل (II-11) : مخطط يوضح مختلف أجزاء البرخان [12].

### II-3-2) مراحل تكون البرخان:

تنشأ الكثبان البركانية عندما تهب الرياح باتجاه واحد وتتوافر كمية كافية من الرمال، وهذا النوع من الكثبان يشبه في الشكل العام الهلال وان النهايتين المقوستين تشيران إلى جهة انصراف الرياح كما تشيران إلى اتجاه حركة الكثيب واتجاه الرياح السائدة [13]. تتكون الكثبان الرملية الهلالية عندما تصل أكوام الرمال أو التجمع الرملي إلى مرحلة النضج، ثم تبدأ بالتحرك مع اتجاه الرياح إذ تبدأ بتكوين أطراف الكثيب النحيفة التي تكون أقل مقاومة من وسط الكثيب على هيئة جناحين يصل طولهما وتقوسهما إلى الدرجة التي تحقق فيها مقاومة الرياح تساوي درجة مقاومة الجزء الأوسط من الكثيب وعندما يتكون الكثيب الهلالي يبقى على شكله ما بقيت الرياح السائدة في الاتجاه نفسه [14].



الشكل (12-II) : مخطط يوضح أهم مراحل تكون البرخان [13].

### 3-3-II) علاقة قيمة التقاط البرخان بارتفاعه :

نعتبر أن قيمة الالتقاط تتعلق بارتفاع البرخان ونبحث عن حل لبرخان آخر على الشكل التالي :

$$(15-II)$$

$$(16-II)$$

بحيث : , : هي سرعة تقدم البرخان وهي ثابتة , و : هما على الترتيب اعوجاج البرخان بالنسبة للمحور و الارتفاع , اما : هي الارتفاع الاعظمي للبرخان و : هي عرض البرخان [12] .

لما نثبت ارتفاع البرخان يبقى هناك 4 متغيرات فقط هي : , , و تعرف للوصف الكلي للبرخان ندخل هذه المعادلات على النظام فيأخذ الشكل المصنوفي التالي :

$$(17-II)$$

معادلة إنحفاظ المادة من الشكل التالي :

(18-II)

بحيث : ; يمثل الاعوجاج الكلي للبرخان.

المصفوفة و معاملات معرفة سابقا، المعادلة الاولى تحلل على معكوس المصفوفة وتكون قابلة للانعكاس الا اذا كانت معرفة وغير مهمة حيث : ، وعليه يصبح النظام على الشكل التالي [12]:

يقدر اعوجاج البرخان في الاتجاه بالمعادلة التالية :

(19-II)

يقدر اعوجاج البرخان في الاتجاه بالمعادلة التالية :

(20-II)

يقدر تدفق الترسب للجهة المواجهة للرياح بالبرخان ب :

(21-II)

تحدد سرعة تقدم البرخان بالمعادلة التالية [12] :

(22-II)

أما عرض البرخان فيقدر بالعلاقة التالية :

(23-II)

(24-II)

عليه نستخلص أن هناك علاقة عكسية بين اعوجاج وسرعة تقدم البرخان مع ارتفاعه وذلك من اجل قوة رياح معطاة بحيث تأخذ قيمة ثابتة، بالإضافة إلى قيمة انتشار معتبرة على الجانب المواجه للرياح للبرخان و به يكون اعوجاجه ضعيف، أما شكله فيعتمد على قيمة النسبة .

حيث : , إن تناقص ميزة تزييد من قيمة الاعوجاج على و والتناقص على الارتفاع من اجل نفس العرض للبرخان [12].

### 4-3-II سرعة تقدم البرخان:

هناك العديد من المميزات التي تخص البرخان فمن بينها سرعة التقدم و التي تحقق العلاقة التالية [12]:

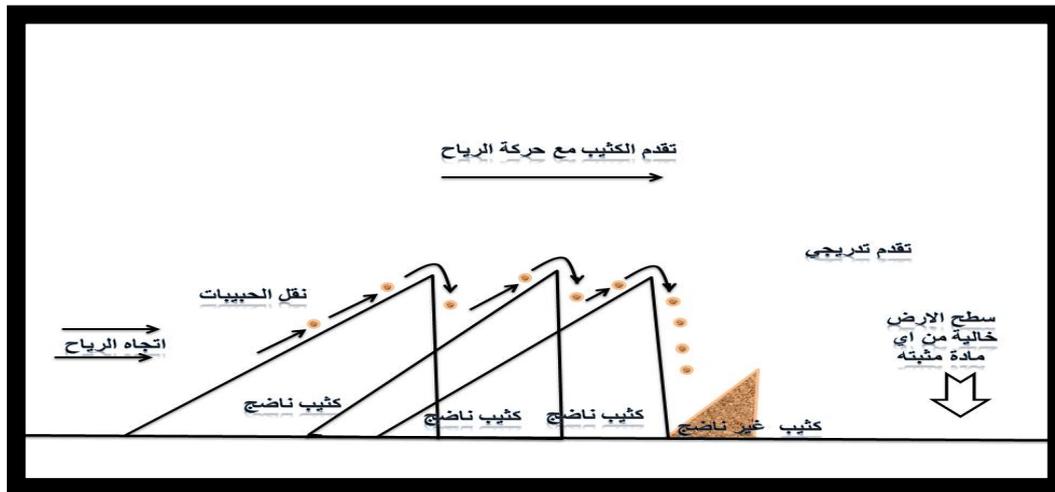
$$(25-II)$$

تحت فرضية إنحفاظ الكتلة للبرخان نجد قيمة الالتقاط المتوسطة على الشكل التالي:

$$(26-II)$$

بالتعويض نجد سرعة تقدم البرخان على النحو التالي [12]:

$$(27-II)$$



الشكل (13-II) : مخطط يوضح أهم مراحل تقدم البرخان [13].

### 5-3-II دراسة الاستقرار الخطي للكثبان المتحولة :

إن استقرار الكثيب يتوقف على متغيرين هما [12]:

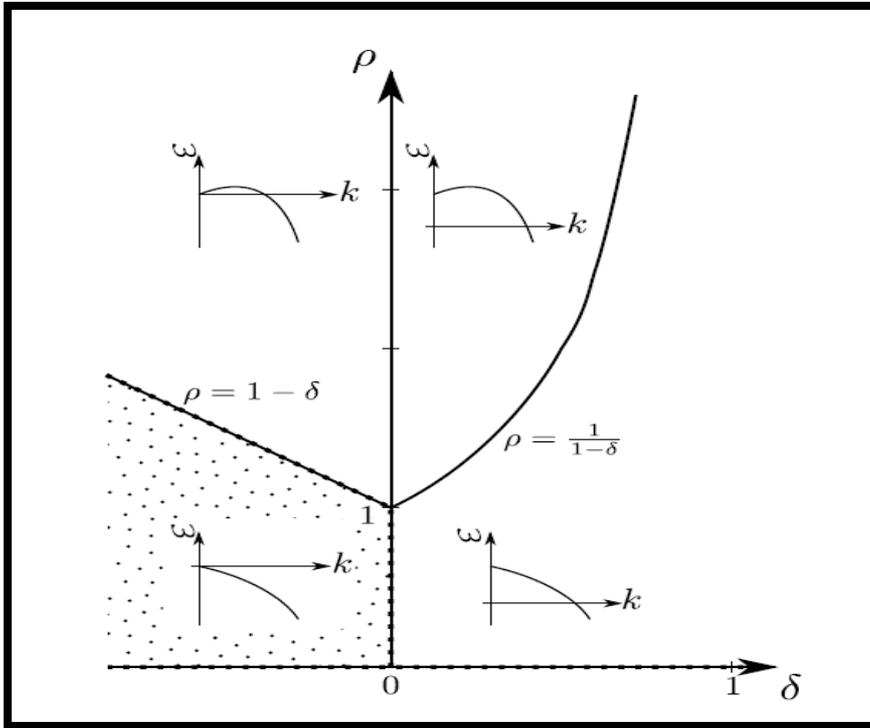
- الانتشار على الجهة المواجهة للرياح والجهة المظاهرة لها، وتعرف بالمتغير .
- تغير قيمة الالتقاط للجهة المظاهرة للرياح بالكثيب مع الارتفاع، وتعرف بالمتغير .

في حالة كانت (قيمة التزايد تزيد مع ارتفاع الكثيب) وعليه الكثيب المتحول يكون في حالة لا استقرار. يعرف النموذج الأكثر عدم استقرار على أنه يكون سواء نموذج العدد الموجي المحدود من أجل ، أو النموذج المتجانس من أجل [12].

أما في حالة يكون الكثيب غير مستقر إذا كان، وعليه يكون النموذج الأكثر عدم استقرار هو نموذج العدد الموجي المحدود .

إذن نستنتج أن الكثيب المتحول يكون في حالة إستقرار خطي من اجل فقط و.

حيث : هي النسبة بين الانتشار على الجانب المواجه للرياح و المظاهر له بالكثيب، مميز التغير لقيمة الالتقاط للكثيب على الجانب المظاهر للرياح مع ارتفاعه [12] . تلخص نتائج تحليل استقرار الكثيب على الشكل التالي :



الشكل (14-II) : مخطط يوضح استقرار الكثيب المتحول ومتغيرات منحنى التشتت بدلالة المتغيرات و [12].

في الأخير نستخلص أن منحنى التشتت يبين لنا علاقة قيمة التزايد المختلطة مع عددها الموجي ، وعند طرح عدد موجي من القيمة المتزايدة تكون النتيجة ايجابية وعليه الكثيب المتحول خطيا يكون غير مستقر، ومنطقة استقراره تمثل فقط المنطقة والمنحنى المنقطين [12]

## الفصل الثالث

نمذجة رقمية لأنماط الرياح السطحية  
لمنطقتي ورقلة و تقرت

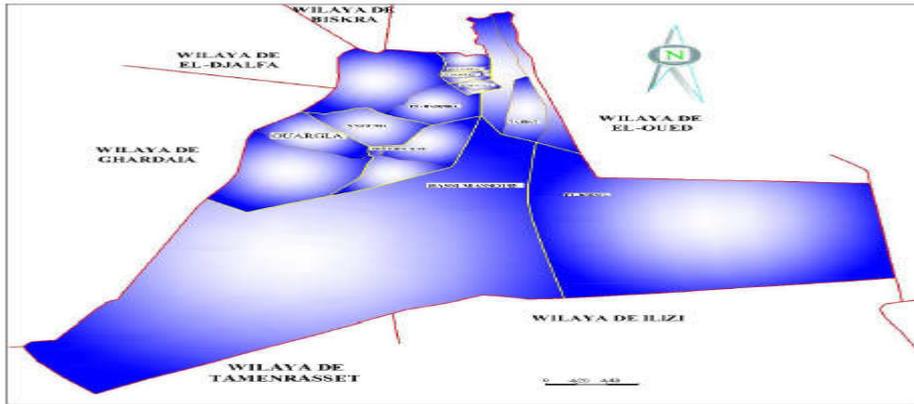
تعتبر الصحراء الجزائرية الكبرى من أهم الصحاري الحارة بالعالم، التي تتميز بمناخ حار صيفا و قارص البرودة شتاء إلى جانب ندرة الأمطار و بالتالي قلة الغطاء النباتي. نخص بالذكر في هذه الدراسة منطقة ورقلة التي تزخر بمخزون هائل للكثبان الرملية أين تتميز بهبوب رياح عنيفة المؤدية للزوابع الرملية المساعدة على زحف الرمال و التعرض لمخاطر التصحر بالمنطقة.

### 1-III) التعرف على منطقة الدراسة (ورقلة)

#### 1-1-III) نبذة عن مدينة ورقلة :

الموقع : تقع مدينة ورقلة في الجزء الجنوبي من جمهورية الجزائر على خطي عرض  $31^{\circ}$  و  $58^{\circ}$  شمالا وخطي طول ( $5^{\circ}$  و  $20^{\circ}$  شرقا) تبعد عن العاصمة حوالي 820 كلم وترتفع ورقلة عن سطح البحر حوالي 219 م تبلغ مساحتها حوالي 2.887 .

حدود المنطقة : يحد مدينة ورقلة من الجهة الشمالية ولايتي الجلفة والوادي ومن الجهة الشرقية جمهورية تونس الخضراء أما الجهة الجنوبية ولايتي تمنراست و اليزي ومن الجهة الغربية ولاية غرداية[15]



خريطة ولاية ورقلة [15].

#### 2-1-III) المناخ :

تتميز منطقة ورقلة بمناخ صحراوي جاف، تكون فيه درجات الحرارة عالية صيفا تفوق ( $41^{\circ}\text{C}$ ) في المتوسط أما في فصل الشتاء تكون منخفضة ولاسيما في الليل كما أنها تتميز بندرة الأمطار 49 ( مم ) في المتوسط أما بالنسبة للرياح الموسمية تهب على عليها عواصف رملية موسمية بين شهري (فبراير وأفريل) تبلغ ذروتها في شهر مارس يبدأ الجو في التحسن عند بداية سبتمبر لأنه

يتغير فيه اتجاه الرياح فتصبح شمالية شرقية تعرف محليا باسم (البحري)، يرحب سكان المنطقة كثيرا بهذه الرياح فهي تساعد على تلقيح أشجارهم ونخيلهم[15]

### (2-III) دراسة و تحليل المعطيات الميدانية لمنطقة الدراسة

#### (1-2-III) دراسة أنماط الرياح السائدة:

من خلال التعرف على مناخ ورقلة نجد أن الرياح تبلغ أوج نشاطها في شهري مارس وأفريل، وهذا ما تأكده معطيات سرعة و اتجاه الرياح المتوسطين المتحصل عليها من مصلحة الأرصاد الجوية لمنطقتي ورقلة و تقرت في الفترة الممتدة ما بين 01 مارس – 15 أفريل 2018 المدونة بالجدول أدناه.

**الجدول (1-III) :** تغيرات الرياح المتوسطة – السرعة والاتجاه – المسجلة في محطتي الرصد بمنطقة ورقلة و منطقة تقرت على التوالي خلال شهري مارس و افريل.

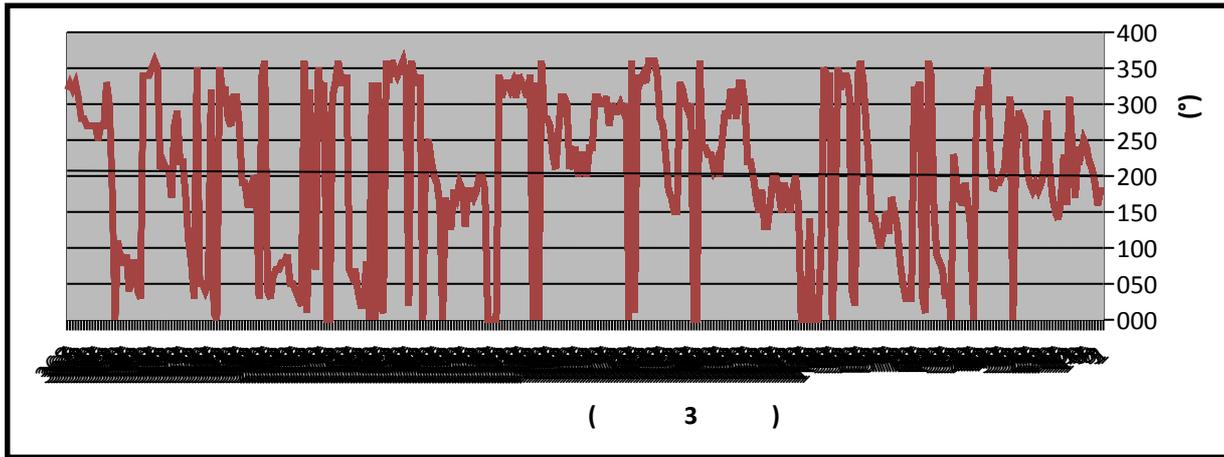
تقرت		ورقلة		/
السرعة m/s	الاتجاه (°)	السرعة m/s	الاتجاه (°)	اليوم
7	191.25	7.125	203.75	01/03/18
2.25	133.75	2.875	218.75	02/03/18
3.125	188.75	3.5	192.5	03/03/18
6.375	221.25	6	230	04/03/18
4.875	215	4.125	192.5	05/03/18
5	250	4.125	240	06/03/18
5.125	157.5	3.625	143.75	07/03/18
3.25	125	5.25	141.25	08/03/18
2.25	181.25	3.375	142.5	09/03/18
4	137.5	4.5	127.5	10/03/18
5	152.5	5	238.75	11/03/18
3.875	206.25	3.5	231.25	12/03/18
2.375	200	1.625	141.25	13/03/18
2.25	165	2.25	103.75	14/03/18
7.125	171.25	6.625	172.5	15/03/18
6.625	171.25	7.5	196.25	16/03/18
7.625	290	6.375	298.75	17/03/18
6.25	196.25	6.625	241.25	18/03/18
5.125	290	3.875	211.25	19/03/18
6.375	260	6	247.5	20/03/18
6.5	293.75	7.5	303.75	21/03/18
5	261.25	4.5	255	22/03/18
4.5	275	5.125	276.25	23/03/18
6.125	252.5	8	243.75	24/03/18
6.25	220	5.75	275	25/03/18
3.5	237.5	4.25	246.25	26/03/18
3.25	285	3.625	283.75	27/03/18
1	75	2.5	116.25	28/03/18
3.375	108.75	3.625	167.5	29/03/18
2.75	98.75	3	165	30/03/18

5.875	307.5	4.375	245	31/03/18
3.125	177.5	5	307.5	01/04/18
0	0	2.5	100	02/04/18
4.375	193.75	6.75	200	03/04/18
1.625	116.25	2.375	211.25	04/04/18
2	171.25	5.5	115	05/04/18
1.875	46.25	7.375	66.25	06/04/18
3.375	72.5	4.25	185	07/04/18
5.125	267.5	5.625	267.5	08/04/18
1.25	117.5	3.875	142.5	09/04/18
3.75	80	7.75	153.75	10/04/18
4.875	240	6.25	241.25	11/04/18
4.375	250	5.25	235	12/04/18
4.375	70	5.875	82.5	13/04/18
7.75	162.5	7.25	278.75	14/04/18
6.25	303.75	6.5	305	15/04/18

III-2-2) رسم المخططات البيانية لتغيرات سرعة و اتجاه الرياح :

III-2-2-1) رسم منحنيات اتجاه الرياح :

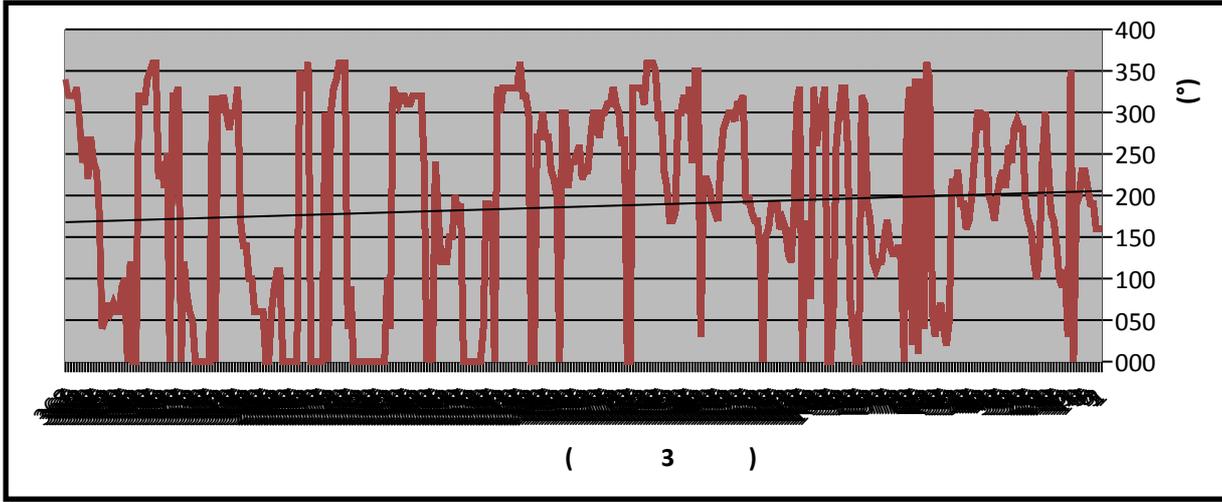
III-2-2-1-1) رسم منحنى اتجاه الرياح لمنطقة ورقلة :



الشكل (III-1) : تغيرات اتجاه الرياح بدلالة الزمن بالساعة في منطقة ورقلة من 01 مارس إلى 15 افريل.

تحليل المنحنى : نلاحظ من خلال المنحنى أن تغيرات اتجاه الرياح لمنطقة ورقلة يكون في المتوسط ضعيف، بحيث نجد من الشكل (III-1) قيمة هذا الاتجاه الذي يقابل الرياح الجنوبية الغربية بتقريب  $15^\circ$  الذي يوافق  $225^\circ$  (الاتجاه الجنوبي الغربي)، ومنه تساوي  $205^\circ$  الموافقة لنفس اتجاه الرياح الجنوبية الغربية لكن بفارق  $20^\circ$ .

### III -2-2-2- (2-1-2-2) رسم منحنى اتجاه الرياح لمنطقة تقرت :

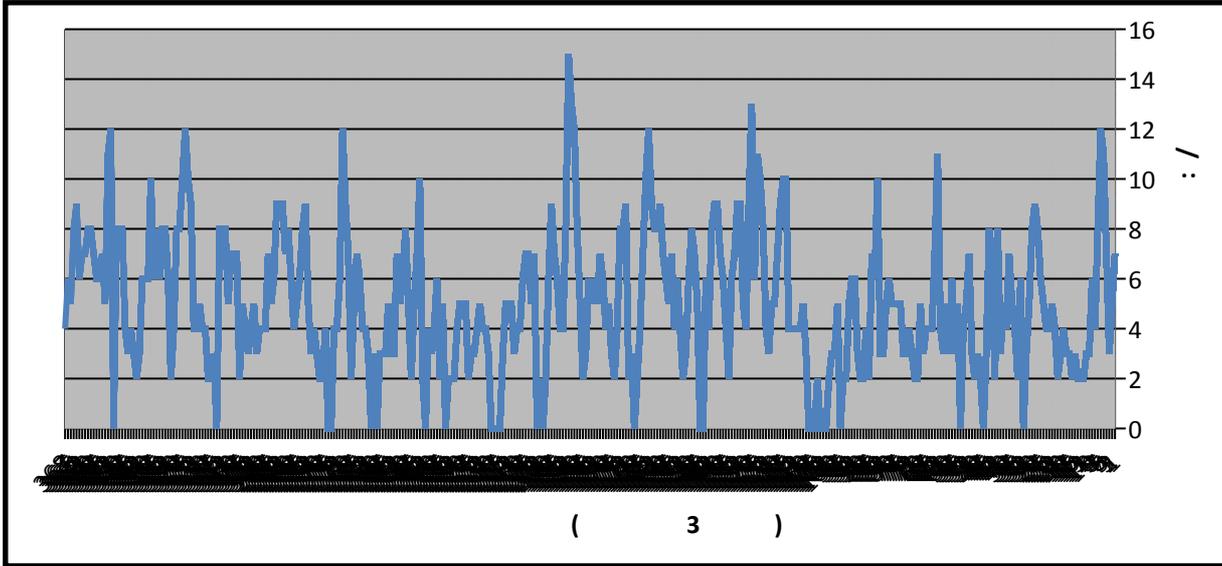


الشكل (III-2): تغيرات اتجاه الرياح بدلالة الزمن بالساعة في منطقة تقرت من 01 مارس إلى 15 افريل.

**تحليل المنحنى :** أما في منطقة تقرت نلاحظ من خلال المنحنى أن تغيرات اتجاه الرياح تكون محسوسة حيث نجد ،ومنه ، هذا الاتجاه يوافق الرياح الجنوبية الصرفة.

### III -2-2-2- (2-2-2-2) رسم منحنى السرعة المتوسطة للرياح:

### III -2-2-2- (1-2-2-2) رسم منحنى السرعة المتوسطة للرياح بمنطقة ورقلة:



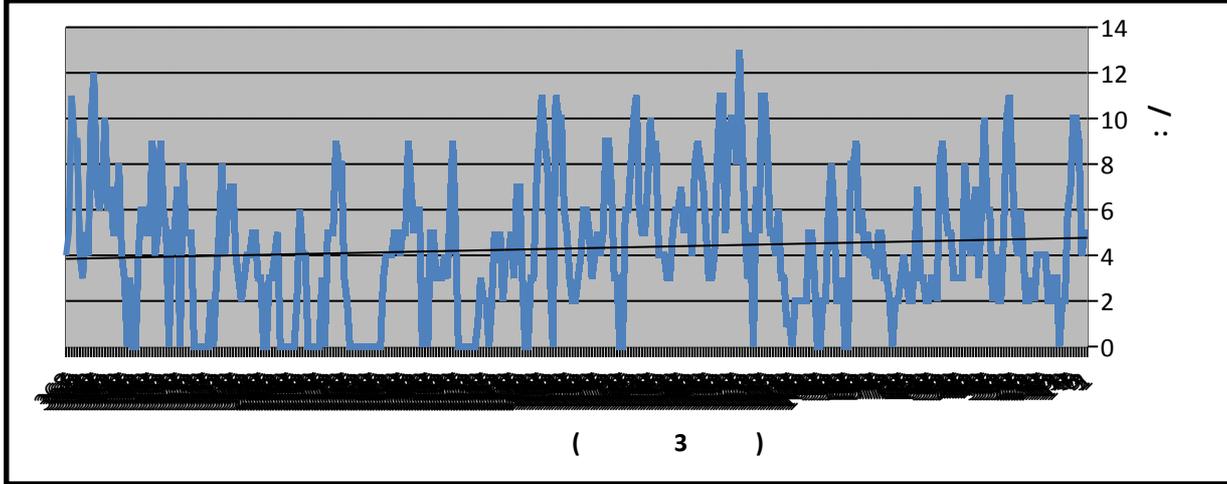
الشكل (III-3): تغيرات سرعة الرياح بدلالة الزمن بالساعة في منطقة ورقلة من 01 مارس إلى 15 افريل.

تحليل المنحنى : نلاحظ من خلال منحنى تغيرات سرعة الرياح لمنطقة ورقلة عدة ملاحظات

نذكر أهمها :

- أن أغلب القيم محصورة في المجال 2.5-10 م/ثا، و هو المجال الذي يسمح بتحريك الكثبان و تشكيلها.
- ملاحظة حوالي 12 قيمة ترتفع فوق 10 م/ثا التي تعتبر رياح قوية المؤدية لتوليد الزوابع الرملية، لهذا تنخفض احتمالية ترك الكثبان الرملية بالصورة النمطية لتتدخل عمليات النقل والترسيب بقوة.
- تمييز وجود عاصفة في الساعة 570 الموافقة ليوم 24 مارس 2018.

III-2-2-2-2 رسم منحنى السرعة المتوسطة للرياح بمنطقة تقرت:



الشكل (III-4): تغيرات سرعة الرياح بدلالة الزمن بالساعة في منطقة تقرت من 01 مارس إلى 15 افريل.

**تحليل المنحنى:** نلاحظ من خلال منحنى تغيرات سرعة الرياح المتوسطة لمنطقة تقرت عدة ملاحظات نذكر أهمها :

- أن أغلب القيم محصورة ما بين 2-9 م/ثا ويعتبر هذا المجال انسحاب ب 1- لمجال منطقة ورقلة مع المحافظة دائما على نفس مجال ديناميكية الكثبان الرملية النمطية.
- وجود 9 نقاط فقط تفوق 10 م/ثا بنسبة 3 نقاط أقل من المنطقة السابقة.
- العاصفة المحددة سابقا (الموافقة ليوم 24 مارس 2018) تحدد باضطراب في سرعة الرياح، حيث بلغت سرعتها 11 م/ثا وهي أقل بكثير من المسجلة سابقا.

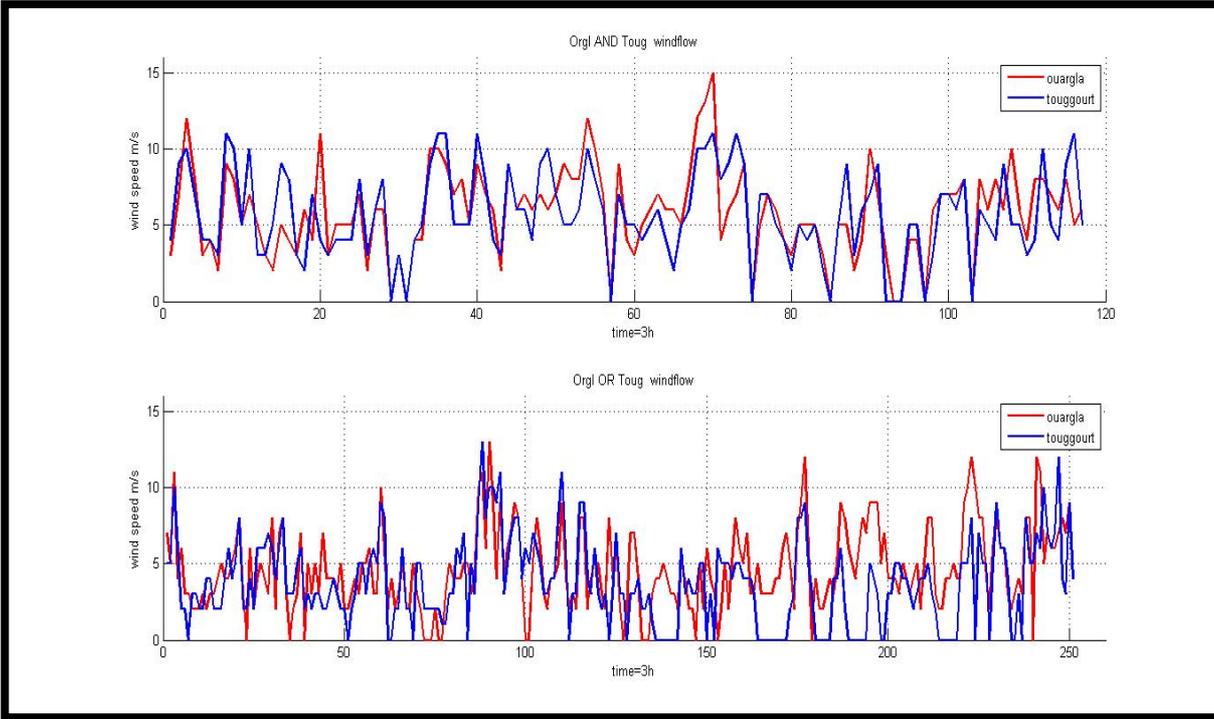
### III-3) معالجة البيانات و البرمجة الآلية

باستغلال البيانات السابقة و إجراء بعض الحسابات الآلية، نحاول في هذه المرحلة الحصول على بعض النتائج التي من أهمها؛ إيجاد الاتجاه المفضل (السائد) للكثبان الرملية بتطبيق نموذج البرخان؛ التعرف على خصائص الرياح السطحية بين المنطقتين المدروستين.

بُنيت الدراسة على أساس فرضيتين، الأولى أن الرياح التي قيست في كلتا المنطقتين كانت على نفس الارتفاع (10 م)، الفرضية الثانية، أن المنطقتين متصلتين تماما بنفس الكتلة الهوائية، على هذا الأساس قسمنا الرياح إلى جزأين، رياح متوافقة في الاتجاه بانحراف ( $15^\circ$ ) تعبر عن النمط المتوسط ( $U$ )، رياح غير متوافقة باتجاهات بانحراف أكبر تعبر عن النمط الاضطرابي ( $U'$ ) و بذلك تحصلنا على مجموعة من النتائج.

### III-3-1) نمذجة رياح النمط المتوسط والاضطرابي لمنطقتي ورقلة و تقرت :

الشكل (III-5) أدناه بين أن رياح النمط المتوسط تكون أكثر تطابقا بين المنطقتين، حيث يمكن اعتبارها نفس الرياح على طول المنطقتين، على عكس ذلك، نجد أن رياح النمط الاضطرابي اقل تطابقا وفي بعض الأحيان متعاكسة تماما.



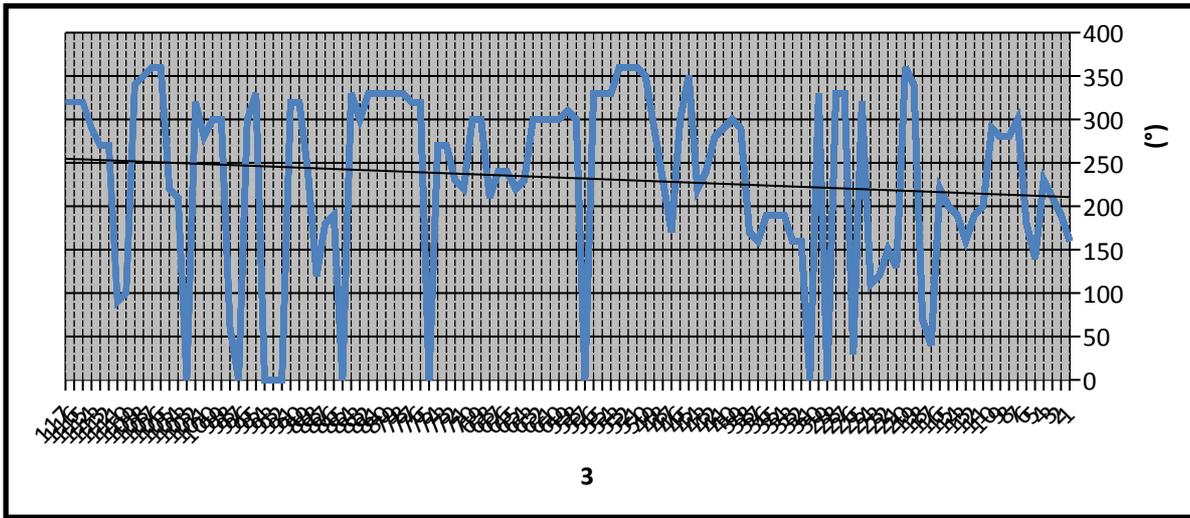
الشكل (III-5) : رياح متوافقة النمط المتوسط (AND) ، رياح غير متوافقة باتجاهات النمط الاضطرابي (OR) الانحراف (15°).

### III-3-2) النتائج ومناقشتها:

قيم النمط الاضطرابي أكثر من (250) قيمة في المقابل النمط المتوسط (120) بالتقريب، أرجعنا ذلك إلى أن الفترة المقاسة نشطة جدا، حيث أن الرياح القوية تعاني اجهادات قص عالية مما يغير الاتجاه بصورة كبيرة.

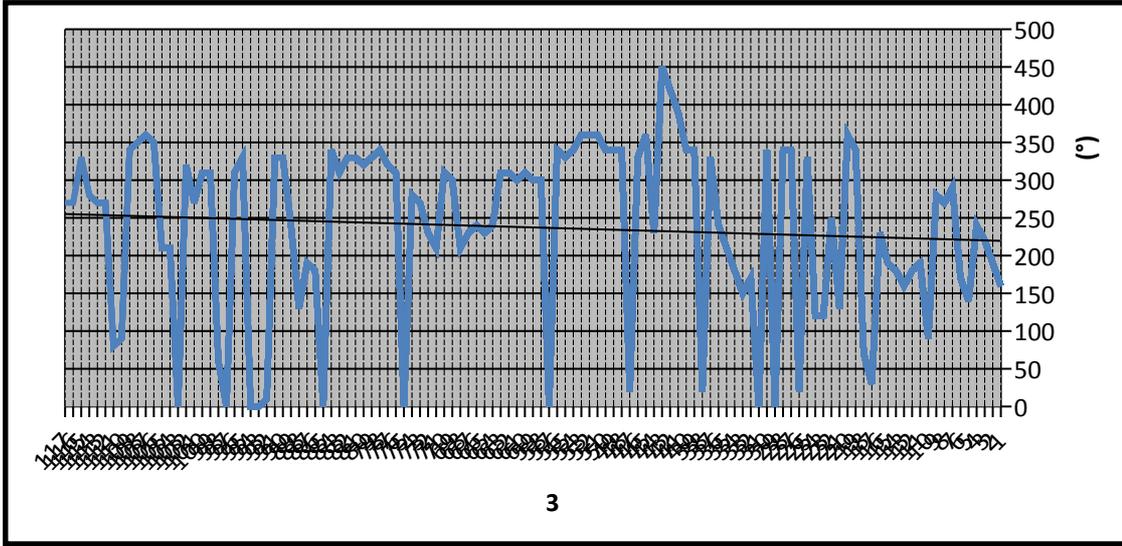
سرعة الرياح في النمط المتوسط كانت أكبر (5.6325م/ثا في منطقة تقرت) و (5.8034 م/ثا في منطقة ورقلة)، بالمقابل (3.6892م/ثا في منطقة تقرت) و (4.5697م/ثا في منطقة ورقلة) للنمط الاضطرابي.

اتجاه رياح النمط المتوسط في منطقة تقرت تتراوح بين ( $210^{\circ}$ - $251^{\circ}$ ) و هو الاتجاه الغربي بفارق  $20^{\circ}$  وخطأ  $5^{\circ}$  كما يبينه الشكل (III-6) ، من خلال اتجاه هذه الرياح يمكن توقع اتجاهات الكثبان الرملية في هذه المنطقة، التي تأخذ نفس الاتجاه و ذلك باعتبار الكثبان من نوع البرخان.



الشكل (III-6) : اتجاه رياح النمط المتوسط في منطقة تقرت.

اتجاه رياح النمط المتوسط في منطقة ورقلة كما نلاحظه في الشكل (III-7) تتراوح بين ( $220^{\circ}$ - $250.5^{\circ}$ ) درجة و هو الاتجاه الغربي بفارق  $20^{\circ}$  وخطأ  $5^{\circ}$  كما يبينه الشكل (III-6) ، من خلال اتجاه هذه الرياح يمكن توقع اتجاهات الكثبان الرملية في هذه المنطقة كذلك، التي تأخذ نفس الاتجاه و ذلك باعتبار الكثبان من نوع البرخان طبعاً.



نلاحظ في هذه المنطقة أن مدى تغير الاتجاهات يكون اقل مما عليه في المنطقة السابقة، كما يوضحه الشكل (7-III) ، من خلال الفرق في الزاوية بـ:  $30^\circ$  تقريبا.

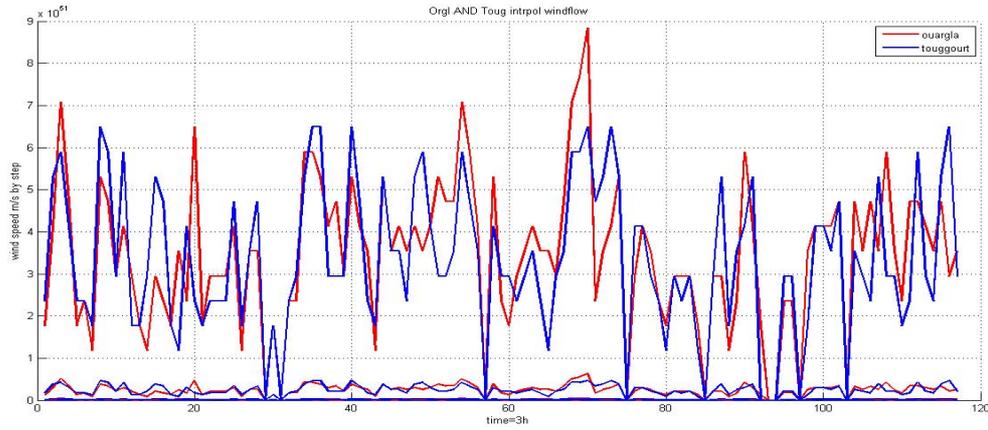
• نسبة الخطأ مثبتة في البرنامج مسبقا بـ:  $5^\circ$

### III-3-3) استقطاب دالة تغيرات سرعة الرياح بمنطقتي تقرت - ورقلة :

بتطبيق العلاقة التي تربط بين سرعة الرياح و ارتفاع البرخان (1-III) والتغير في الارتفاع التالية :

(1-III)

ثم إجراء استقطاب لدالة تغير سرعة الرياح على المدى من 10م إلى 2م بخطوة 0.2، نحصل على نموذج لتغير سرعة الرياح بالشكل المبين في الشكل (8-III).



**تحليل المنحنى:** نلاحظ أن سرعة الرياح على ارتفاع 2م ضعيفة مقارنة بالارتفاع الابتدائي حيث تبلغ 0.7 م/ثا كأعلى قيمة، و لكن في نفس الوقت تكاد لا تنقطع أي لا تصل إلى القيمة صفر إلا نادرا، عكس الرياح على الارتفاع الابتدائي 10م حيث تكون متذبذبة جدا، حيث تأخذ القيم صفر في كثير من الأحيان. هذه النتائج تنطبق على كل من المنطقتين المدروستين.

### III-3-4) مقارنة النتائج المتحصل عليها بيانيا بالملاحظات الميدانية :

على الرغم من أن الاتجاه السائد للكثبان الرملية ميدانيا، يدل على أن الرياح الفعلية تكون بالاتجاه الشمالي الغربي في هذه الفترة، إلا أن حساباتنا أعطت بشكل قريب الاتجاه الغربي الصرف بفرق  $19^\circ$ .

يمكن اعتبار هذه النتيجة قريبة من الواقع وذلك بالأخذ بعين الاعتبار بعض المتغيرات التي من الممكن إضافتها في الحسابات، مثل تغيرات الحرارة، الارتفاع الغير متساوي للسطح، و خاصة الرطوبة التي من المؤكد أن لها دورا مهما جدا في التشكيلات الرملية وحركتها.

بالإضافة إلى ما سبق من أسباب، الفترة المختارة للدراسة (من 01 مارس إلى 15 افريل) تعتبر مدة قصيرة جدا من الناحية العملية، على الرغم من أنها احتاجت حسابات طويلة نوعا ما. حيث تعتبر الأشكال الرملية الموجودة حاليا هي نتيجة إلى عمل الرياح في مدة زمنية طويلة نوعا ما، عدة سنوات على اقل تقدير، لهذا اعتمدنا على حساب المتوسطات في جميع المراحل من البرنامج.

# الخلاصة العامة

## الخلاصة العامة

على الرغم من الاختلاف الواضح للنتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة المتعلقة بالاتجاه السائد للرياح و اتجاه الكثبان الرملية(البرخانات)، إلا أن هذه الدراسة بينت العلاقة الواضحة والوثيقة بين الاتجاه السائد للرياح ونمط البرخان. هذه العلاقة التي تبقى صحيحة في حدود التقريبات. مما سبق، من هذه الدراسة كذلك نستنتج أن التشكيلات الرملية( الكثبان) ماهي إلا عمل متراكم لمدة زمنية معتبرة تقدر بالسنوات.

في دراستنا هذه حاولنا معرفة هذه العلاقة لكن تبقى الاختلافات ، و من خلال النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة أرجعنا أسباب الاختلاف إلى مايلي:

- نظرا لقصر الفترة الزمنية و المقدرة ب 06 أسابيع التي لا يمكن اعتبارها كفترة كافية للدراسة، ففي الأبحاث المتعلقة بنفس الموضوع تؤخذ بالسنوات لا بالأشهر.
- التدخل بقوة لعوامل جوية أخرى على أشكال و ديناميكية الكثبان، كعامل الرطوبة ذا التأثير الفعال إلى جانب التغيرات الكبيرة لدرجات الحرارة و الارتفاع الغير متساوي للسطح بين المنطقتين.

في الأخير يمكننا استغلال هذه الدراسة لاجراء محاكاة اشمل وذلك لمدة زمنية،سنةمثلا؛للحصول على نتائج أدق.

## قائمة المراجع :

- [1] Richard Wilson ' Une introduction à la physique de la couche limite planétaire' M2 Océan, Atmosphère, Climat et Observations Spatiales. Parcours dynamique & Environnement.
- [2] B. Legras 2017 'Physique de l'atmosphère' L3 et DENS, COURS 4 LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE.
- [3]Hadjira Schmitt-Foudhil 20 octobre 2009 ' Météorologie de la couche limite atmosphérique ' Module environnement atmosphérique et qualité de l'air.
- [4] Jean-Martial Cohard 'Couche Limite Atmosphérique' Echange à l'interface terre-atmosphère .
- [5] عبد العزيز طريح 14 نوفمبر 2010 'الجغرافيا المناخية والنباتية' دار المعرفة الجامعية.
- [6] سنوسي سميرة 2006 'التصحّر في الزيبان و انعكاساته على التهيئة ولاية بسكرة 'مذكرة ماجستير' جامعة منتوري-قسنطينة.
- [7] سميحة بضياف (2011/2012) 'دراسة التركيب الجزيئي لرمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الأحمر و حيود الأشعة السينية' جامعة ورقلة.
- [8] Adeline Pons Février 2007'LE SABLE ET LE VENT' Projet bibliographique encadré par Stéphane Douady.
- [9 ] Alexander Valance GdR EGRIN 2-4 Avril 2013 'Rides et Dunes de Sable' Institut de Physique de Rennes (IPR), CNRS UMR 6251 Université de Rennes 1, 35042 Rennes Cedex.
- [10] yaping Shoa 2008 'Physics and Modelling of Wind Erosion' university of Cologne germany Springer science.
- [11] مشري محمد العيد (2016/2015) 'دراسة اثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان وعلى ناقلية الكهربائية باستخدام الطرق الطيفية ' جامعة ورقلة.
- [12] Lucie Guignier 2014. Français. 'Analyse physique du transport sédimentaire et morpho dynamique des dunes' Université Rennes 1.
- [13] وفيق حسين الخشاب وعبد الوهاب الدباغ، أشكال سطح الأرض، مطبعة دار الزمان، بغداد، 1964 ص336.
- [14] علي الشيب، الكثبان الرملية، برنامج جغرافية التخطيط، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة قطر، 2011، ص5.
- [15] ولاية ورقلة - ويكيبيديا، الموسوعة الحرة.
- [16] د/ محمد إبراهيم شرف 'كتاب خرائط الطقس والمناخ 'دار المعرفة الجامعية الإسكندرية.
- [17] خريطة الطقس - ويكيبيديا النسخة الالمانية - <https://de.m.wikipedia.org/wiki/Wetterkarte>
- [18] إيمان الحيارى 28 يونيو 2016 'الخصائص الطبيعية للبيئة الصحراوية.

**ملخص :** تعتبر الصحراء الجزائرية من أهم الصحاري الحارة في العالم، ركزنا في هذه الدراسة على منطقة ورقلة التي تتميز بتنوع أشكال كثبانها الرملية و النشاط الكبير للزوابع الرملية خاصة في فصل الربيع. حاولنا في هذا البحث إجراء محاكاة رقمية لدراسة و معرفة الاتجاه السائد و الفعال للرياح ثم تحليل النتائج و مناقشتها، ليتم مقارنتها بالاتجاه السائد للكثبان الرملية بالمنطقة (البرخان) الملاحظة عياناً، كل ذلك باستغلال دراسة الخصائص المورفوديناميكية لحبيبات الرمل و تطبيق معادلات النقل و الترسيب ، بالإضافة إلى إجراء ملاحظات ميدانية لأشكال الكثبان الرملية. بينت النتائج مدى ارتباط اتجاه تشكل و ديناميكية الكثبان الرملية باتجاه الرياح السائدة بمنطقة الدراسة التي تعتبر محركها الأساسي رغم تدخل بعض العوامل الأخرى.

**الكلمات المفتاحية :** الطبقة الحدية الجوية، أنماط الرياح، معادلات النقل و الترسيب، الكثبان الرملية، البرخان.

**Résumé:** Le Sahara algérien est l'un des plus grands déserts du monde. Dans ce travail, nous avons choisi la région d'Ouargla, qui se caractérise par ses dunes de sable variées et les grandes activités des tempêtes de sable surtout au printemps. Par l'utilisation d'une simple simulation numérique, nous avons essayé d'étudier et de bien connaître la tendance du profile du vent effectif; les résultats sont discutés afin d'être comparés à la direction dominante des dunes de sable dans la région (barchans). Ceci est fait en utilisant l'étude des propriétés morphodynamiques des grains de sable et l'application des équations de transport et de sédiment. Les résultats montrés que la formation et la dynamique des dunes de sable sont bien liées aux vents dominants dans la zone d'étude, et qu'on peut le considérer comme le moteur principal de leur formation malgré l'influence de certains autres facteurs.

**Mots clés:** couche limite atmosphérique, profile du vent, équations de transport et de sédiment, dunes de sable, barchanes.

**Abstract:** The Algerian Sahara is considered one of the biggest deserts in the world. In this work, we focused on the region of Ouargla, which is characterized by its varied sand dunes and the great activity of sand storms especially in the spring season. By the use of a simple numerical simulation, we tried to study and know well the effective wind tendency; the results are discussed in order to be compared to the dominant trend of sand dunes in the region (barchans). This is done using the study of morphodynamic properties of sand grains and application of transport and sediment equations. The results showed how the formation and dynamics of the sand dunes are related to the prevailing winds in the study area, which is considered the main engine despite the interference of some other factors.

**Keywords:** atmospheric boundary layer, wind patterns, transport and sediment equations, sand dunes, barchans.