

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

مجال : علوم المادة

فرع : الفيزياء



تخصص : فيزياء الأرصاد الجوية

مذكرة ماستر أكاديمي

من إعداد :

● عقال سيدعلي

● حمداوي أحمد

بعنوان :

دراسة الخصائص الفيزيائية والبصرية للهباء الصحراوي
بواسطة تقنية ليدار

نوقشت يوم : 2022/06/16

أمام اللجنة المناقشة المكونة من :

جامعة ورقلة	أستاذ	رئيسا	بن مبروك لزهر
جامعة ورقلة	أستاذ محاضر	مناقشا	ناقص محمد الطاهر
جامعة ورقلة	أستاذ محاضر	مؤطر	فقيه عبد العالي
ورقلة ONM	إطار	مساعد مؤطر	دواوي عز الدين

السنة الجامعية :

2022/2021

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد :

أشكر الله إلى ما وفقني إليه بفضلته وإلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة حبيبنا

وشفيحنا محمد صلى الله عليه وسلم

أهدي ثمرة هذا النجاح إلى من أذاقني الحب والحنان إلى من سهر وتعب

على راحتني إلى أمي وأبي الغاليين أطال الله في عمرهما

إلى الزهور العطرة إخوتي : حسام الدين و وليد و نور الدين

وأخواتي الكريمات : أميرة و مسعودة

إلى ابن أختي سراج الدين جعله الله من حفظة كتابه الكريم

إلى صديقي وأخي العزيز زياد عمراوي

إلى كل أصدقائي الذين وقفوا معي وكانوا سندا لي في وقت الشدة أشكركم

جميعا كل باسمه أدامكم الله معي دائما

سيد علي عقال

الإهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد :

الحمد لله الذي وفقنا في إتمام مذكرتنا ثمرة الجهد والنجاح أهدي هذا العمل

المتواضع:

إلى منبع الحب والحنان التي كان دعاؤها دائما سبب نجاحي إلى أمي الغالية

إلى من عمل بكد لأجلي ودفع بي إلى سبيل العلم إلى السند وصاحب الأفكار

النيرة إلى أبي العزيز

إلى إخوتي وأخواتي الأعزاء من صغيرهم إلى كبيرهم

إلى صديقي الغالي نور الدين عاشور

إلى كل الأصدقاء و الأحبة التي جمعتنا بهم الحياة الجامعية والعلمية

إلى كل الأساتذة الذين رافقوني طيلة مشواري الدراسي

والله ولي التوفيق

أحمد حمداوي

شكر وتقدير

لا بد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير بأذلين بذلك جهودا كبيرة.

نود أن نعبر عن خالص امتناننا العميق لمشرف المذكرة السيد الدكتور فقيه عبد العالي دكتور في جامعة قاصدي مرباح ورقلة أولا وقبل كل شيء لثقتنا بنا ، ثم على هذه الملاحظات ، وهذه النصائح ، وهذا التشجيع والتوافر الدائم شكرا جزيلًا.

نعبر عن امتناننا العميق للسيد دواوي عز الدين نائب المشرف، دكتور في جامعة قاصدي مرباح ورقلة ، لتوجيهنا في تطوير هذا العمل، شكرا على مساعدتك وتوجيهك وتشجيعك ونصائحك.

كما نولي فائق الشكر و العرفان للسيد بن مبروك لزهر دكتور في جامعة قاصدي مرباح ورقلة على قبوله أن يكون ضمن لجنة المناقشة بصفته رئيسا كما نشكره جزيل الشكر على الاهتمام الكبير الذي أولاه لهذا العمل.

كما نقدم أسمى عبارات الشكر والعرفان للسيد الدكتور ناقص محمد الطاهر على الشرف الذي قدمه لنا بقبوله أن يكون ضمن لجنة المناقشة بصفته مناقشا كما نشكره جزيل الشكر على الاهتمام الكبير الذي أولاه لهذا العمل.

كما نخصص خالص عبارات الشكر للمكتب الوطني للأرصاد الجوية بورقلة على تزويدنا بالمعلومات و البيانات الهامة لتطور عملنا هذا.

في الأخير إلى من زرعو التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات، الذين كانوا عوننا لنا في بحثنا هذا ونورا يضيء الظلمة التي كانت تقف أحيانا في طريقنا ربما دون يشعروا بدورهم بذلك فلهم منا كل الشكر.

الفهرس

i	الإهداء
ii	الإهداء
iii	شكر و تقدير
iv	الفهرس
ix	قائمة الأشكال
xii	قائمة الجداول
xiii	قائمة الاختصارات
xv	قائمة الرموز
1	المقدمة العامة
الفصل الأول : الهباء الصحراوي	
3	I-1- مقدمة
3	I-2- الهباء الجوي
3	I-2-1- تعريف الهباء الجوي
3	I-2-1-1- مصادر ابتدائية
3	I-2-1-2- مصادر ثانوية
3	I-2-2- تصنيف الهباء الجوي
4	I-2-3- أنواع الهباء الجوي
4	I-2-3-1- الكربون الأسود
4	I-2-3-2- الغبار المعدني
4	I-2-3-3- ملح البحر
5	I-2-3-4- الهباء العضوي
5	I-2-3-5- الهباء البركاني
5	I-2-3-6- التكتيف السحابي
5	I-2-4- تأثير الهباء الجوي على المناخ
6	I-2-5- الخصائص الكيميائية للهباء الجوي
6	I-3- الهباء الصحراوي
6	I-3-1- تعريف الهباء الصحراوي
7	I-3-2- مصادر الهباء الصحراوي
8	I-3-3- دورة الغبار
8	I-3-3-1- الدوامة الترابية الغبارية
8	I-3-3-2- الظروف الديناميكية عند بدأ عاصفة رملية
10	I-3-3-3- أنماط حركة جزيئات الغبار والرمل
11	I-3-3-3-1- الزحف: (La reptation)
12	I-3-3-3-2- القفز: (La saltation)
12	I-3-3-3-3- التعليق: (La suspension)
13	I-3-3-4- آليات رفع جزيئات الغبار والرمل
14	I-3-3-5- انتقال الهباء الصحراوي
15	I-3-3-6- آليات ترسب الهباء الصحراوي
15	I-3-3-6-1- الترسيب الجاف
15	I-3-3-6-2- الترسيب الرطب

16	I-4-3-1- الأنماط السينوبتيكية المثيرة للغبار الصحراوي
16	I-4-3-1- الرياح
17	I-4-3-2- الحركة العامة للرياح
18	I-4-3-3- السبب الرئيسي في تكوين الدورة العامة للرياح
18	I-4-4-3- الدورة العامة للرياح
19	I-4-3-5- أنواع الرياح
19	I-4-3-5-1- الرياح الدائمة
19	I-4-3-5-1-1- الرياح التجارية
19	I-4-3-5-1-2- الرياح العكسية / الغربية
20	I-4-3-5-1-3- الرياح القطبية
20	I-4-3-5-1-2- الرياح الموسمية
20	I-4-3-5-1-3- الرياح المحلية
20	I-4-3-6- الجبهات
21	I-4-3-7- المرتفعات الجوية
21	I-4-3-7-1- المرتفع الجوي البارد
21	I-4-3-7-2- المرتفع الجوي الدافئ
22	I-4-3-8- المنخفضات الجوية
22	I-4-3-8-1- المنخفض الجوي الحراري
22	I-4-3-8-2- المنخفض الجوي الجبهي
الفصل الثاني : ملاحظة وقياس الهباء الصحراوي	
23	II-1- مقدمة
23	II-2- الاستشعار عن بعد
23	II-2-1- المبدأ الأساسي للاستشعار عن بعد
24	II-2-1-1- الهدف
24	II-2-1-2- مصدر الطاقة
24	II-2-1-3- أرضية الاستشعار
24	II-2-2- عملية الاستشعار عن بعد
24	II-2-2-1- مصدر الطاقة أو الإضاءة
25	II-2-2-2- تفاعل الإشعاع والغلاف الجوي
25	II-2-2-3- التفاعل مع الهدف
25	II-2-2-4- تسجيل الطاقة بواسطة المستشعر
25	II-2-2-6- التفسير والتحليل
25	II-2-2-7- التطبيقات
26	II-2-3- تطبيقات الاستشعار عن بعد
26	II-2-3-1- الزراعة
27	II-2-3-2- الجيولوجيا
27	II-2-3-3- الهيدرولوجيا
27	II-2-3-4- الأرصاد الجوية والمناخ
28	II-2-4- تقنيات الاستشعار عن بعد
28	II-2-4-1- الليدار (LIDAR)
29	II-2-4-2- الرادار (RADAR)
29	II-2-4-3- السونار (SONAR)

30	4-4-2-II- السودان (SODAR)
30	3-II- وسائل ملاحظة الهباء الجوي
31	1-3-II- الملاحظة من الأرض
31	1-1-3-II- شبكة AERONET/PHOTONS
32	2-1-3-II- R&P TEOM 1400 A
33	3-1-3-II- الرؤية الأفقية
34	2-3-II- الملاحظة من الفضاء
34	1-2-3-II- MODIS
34	2-2-3-II- جهاز SEVIRI
35	3-2-3-II- CALIPSO
36	4-2-3-II- المنتج TOMS
37	5-2-3-II- مؤشر الهباء IDDI
39	6-2-3-II- مؤشر الهباء AAI
الفصل الثالث : ليدار الغلاف الجوي	
40	1-III- مقدمة
40	2-III- تقنية الليدار
40	3-III- تعريف الليدار Lidar
41	4-III- مبدأ عمل الليدار LIDAR
42	5-III- أنواع الليدار LIDAR
42	1-5-III- ليدار تباين امتصاص الضوء (تفاضلي)
43	2-5-III- ليدار دوبلر Lidar-Dopler
43	3-5-III- ليدار التبعثر الخلفي المرن مي (Mie) أو رايلي (Rayleigh)
44	4-5-III- ليدار رامن Lidar Raman
45	6-III- مكونات الليدار
46	7-III- الخصائص الضوئية لليدار
46	1-7-III- التغطية الأرضية لليدار CALIOP
47	2-7-III- السمك الضوئي
48	3-7-III- معامل أنجستروم α لتصنيف حجم جزيئات الغبار
48	4-7-III- معامل التبعثر (الانتشار) β
49	5-7-III- إيجابيات (مميزات) الليدار
49	6-7-III- سلبيات (عيوب) الليدار
الفصل الرابع : الجانب التطبيقي	
50	1-IV- مقدمة
50	2-IV- دراسة حالة غبارية على الصحراء الجزائرية
50	1-2-IV- مناطق الدراسة
51	2-2-IV- دراسة مناخية
51	3-2-IV- الحالة الغبارية ليوم 08 مارس 2007 (تقرب-ورقلة-غرداية-المنبوعة-الوادي)
52	1-3-2-IV- باستعمال خرائط الضغط السطحي والرياح والارتفاع الجهدي
52	1-1-3-2-IV- العاصفة الرملية 8-10/03/2007
52	2-3-2-IV- الوضعية السطحية في مواقع الدراسة باستعمال الرياح والرؤية
55	3-3-2-IV- النماذج العددية للطقس

55	1-3-3-2-IV مستخرجات نموذج الرصد الجوي DREAM
55	1-1-3-3-2-IV- الضغط الجوي على مستوى سطح البحر
56	2-1-3-3-2-IV- السمك الضوئي
57	3-1-3-3-2-IV- تراكيز الغبار
58	2-3-3-2-IV- مستخرجات نموذج الرصد الجوي NAAPS
58	1-2-3-3-2-IV- السمك الضوئي
59	2-2-3-3-2-IV- تراكيز الغبار
60	4-2-IV- المتابعة بواسطة الليدار CALIOP
61	1-4-2-IV- إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر
62	2-4-2-IV- التشتت الخلفي العمودي الموهن للموجة 532 نانومتر
62	3-4-2-IV- نسبة إزالة الاستقطاب للموجة 532 نانومتر
63	4-4-2-IV- التشتت الخلفي الموهن للموجة 1064 نانومتر
64	5-4-2-IV- نسبة اللون الموهن (attenuated color ratio)
65	6-4-2-IV- أقنعة المميزات العمودية (Vertical feature masks)
67	الخلاصة العامة
68	قائمة المراجع

قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
الفصل الأول : الهباء الصحراوي		
4	صورة توضح الهباء الجوي في الغلاف الجوي	الشكل I-1
6	عوامل التبريد في الغلاف الجوي	الشكل I-2
8	موقع مناطق المصدر الرئيسية للهباء الصحراوي في شمال إفريقيا من مؤشر IDDI	الشكل I-3
8	صورة توضح دوامة ترابية على شكل أسطوانة	الشكل I-4
9	صورة توضح توازن القوى التي تتعرض لها حبة رمل D_p ذات القطر تحت إجهاد القص τ	الشكل I-5
10	تمثيل تأثير التربة على تدفق الهواء وإجهاد القص τ الذي يمارسه التدفق على الأرض	الشكل I-6
11	رسم تخطيطي للعمليات الرئيسية المتضمنة في انبعاث الهباء الصحراوي	الشكل I-7
11	عملية الزحف (La reptation)	الشكل I-8
12	عملية القفز (La saltation)	الشكل I-9
13	عملية التعليق (La suspension)	الشكل I-10
15	مسار مبدأ نقل الغبار الصحراوي	الشكل I-11
16	دورة الغبار (الانبعاث، النقل، وترسب الهباء الصحراوي)	الشكل I-12
17	صورة لانحراف الرياح العامة	الشكل I-13
17	صورة توضح اتجاه الرياح حول مراكز الضغط المرتفع ومراكز الضغط المنخفض في نصفي الكرة الأرضية	الشكل I-14
18	صورة توضح الحركة العامة للرياح	الشكل I-15
19	صورة تمثل الدورة العامة للرياح	الشكل I-16
الفصل الثاني : ملاحظة وقياس الهباء الصحراوي		
24	المبدأ الأساسي للاستشعار عن بعد	الشكل II-1
26	عمليات الاستشعار عن بعد	الشكل II-2
28	حمولة CALIPSO	الشكل II-3
29	الرادار RADAR	الشكل II-4
30	السونار SONAR	الشكل II-5
30	SODAR قياس الرياح باستخدام مصفوفة مرحلية	الشكل II-6
31	جهاز (Sun-photomètre) المستخدم في شبكة AERONET	الشكل II-7
32	شبكة AERONET فوق غرب إفريقيا	الشكل II-8
32	جهاز TEOM 1400 A	الشكل II-9

33	مقياس الرؤية DF320 لشركة Degreane- Horizons	الشكل II-10
34	مكونات جهاز MODIS	الشكل II-11
35	مكونات جهاز SEVIRI	الشكل II-12
36	القمر الصناعي CALIPSO	الشكل II-13
37	المخطط الانسيابي لمؤشر الغبار IDDI	الشكل II-14
38	المبدأ الفيزيائي للكشف عن الغبار في IRT	الشكل II-15
الفصل الثالث : ليدار الغلاف الجوي		
40	جهاز ليدار CALIOP	الشكل III-1
41	الليدار	الشكل III-2
42	مخطط مبدأ عمل الليدار	الشكل III-3
42	ليدار الامتصاص التفاضلي لرسم خريطة ناسا NASA للأوزون	الشكل III-4
43	مخطط يبين أسس ليدار دوبلر لقياس الرياح كورتيزي (Courtesy) لوكالة ناسا NASA	الشكل III-5
44	ليدار التبعثر الخلفي المرن مي أو رايلي (Mie/Rayleigh)	الشكل III-6
45	ليدار التبعثر الخلفي اللامر رامن (Raman)	الشكل III-7
46	التغطية المكانية ل CALIPSO LIDAR	الشكل III-8
47	صور ليدارين (مسح CALIPSO 15 كم فوق تمناست في 1 يوليو 2006)	الشكل III-9
48	متوسط السمك الضوئي للهباء الجوي 2009-2013 لليدار CALIOP, Konsta et al.2018	الشكل III-10
الفصل الرابع : الجانب التطبيقي		
50	صورة توضح مناطق الدراسة	الشكل IV-1
52	توزيع الرياح ومناطق الضغط عند بداية الزوبعة (2007/03/08)	الشكل IV-2
53	منحى تغيرات سرعة الرياح والرؤية لولاية تقرت	الشكل IV-3
53	منحى تغيرات سرعة الرياح والرؤية لولاية ورقلة	الشكل IV-4
54	منحى تغيرات سرعة الرياح والرؤية لولاية غرداية	الشكل IV-5
54	منحى تغيرات سرعة الرياح والرؤية لولاية المنيعه	الشكل IV-6
55	منحى تغيرات سرعة الرياح والرؤية لولاية الوادي	الشكل IV-7
56	التنبؤ بالضغط السطحي ليوم 08 مارس على الساعة 12.00 بواسطة نموذج DREAM	الشكل IV-8
57	التنبؤ بالسمك الضوئي ليوم 08 مارس على الساعة 12.00 بواسطة نموذج DREAM	الشكل IV-9
58	التنبؤ بتراكيز الغبار ليوم 08 مارس على الساعة	الشكل IV-10

	12.00 بواسطة نموذج DREAM	
59	التنبؤ بالسماك الضوئي ليوم 08 مارس على الساعة 12.00 بواسطة نموذج NAAPS	الشكل 11-IV
60	التنبؤ بتراكيز الغبار ليوم 08 مارس على الساعة 12.00 بواسطة نموذج NAAPS	الشكل 12-IV
61	إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر	الشكل 13-IV
62	التشتت الخلفي العمودي الموهن للموجة 532 نانومتر	الشكل 14-IV
63	نسبة إزالة الاستقطاب للموجة 532 نانومتر	الشكل 15-IV
64	التشتت الخلفي الموهن للموجة 1064 نانومتر.	الشكل 16-IV
65	نسبة اللون الموهن	الشكل 17-IV
66	أفئعة المميزات العمودية.	الشكل 18-IV

قائمة الجداول

الفصل الأول : الهباء الصحراوي		
الصفحة	العنوان	الجدول
13	سرعة عتبة رفع الغبار لبيئات صحراوية مختلفة	الجدول 1-I
50	الخصائص الجغرافية لمحطات الدراسة (المصدر ONM).	الجدول 1-IV

قائمة الاختصارات

التسمية باللغة العربية	التسمية باللغة الأجنبية	الاختصار
مؤشر غبار الفرق بالأشعة تحت الحمراء	Infrared Difference Dust Index	IDDI
الطبقة الحدودية للسطح	Couche Limite de Surface	CLS
منطقة التقارب المداري	Zone de Convergence Inter Tropical	Z.C.I.T
كشف الضوء والمدى	Light Detection And Ranging	LIDAR
شبكة الهباء الجوي الروبوتية	Radio Detection And Ranging	RADAR
الملاحة الصوتية والمدى	Sound Navigation And Ranging	SONAR
كشف الصوت والمدى	Sonic Detecion And Raning	SODAR
شبكة الهباء الجوي الروبوتية	AErosol RObotic NETwork	AERONET
توازن دقيق يتأرجح مع عنصر مخروطي	Tapered Element Oscillating Microbalance	TEOM
مقياس طيف التصوير ذو الدقة المتوسطة	MOderate Resolution Imaging Spectroradiometer	MODIS
التصوير المرئي المعزز بالأشعة تحت الحمراء و الدوران	Spinning Enhanced Visible and Infra Red Imager	SEVIRI
الرصد الساتلي للسحب والهباء الجوي بواسطة الليدار و الأشعة تحت الحمراء باتفايندر	Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation	CALIPSO
ليدار الهباء الجوي السحابي مع الاستقطاب المتعامد	Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization	CALIOP
مطياف خرائط الأوزون الكلي	Totale Ozone Mapping Spectrometre	TOMS
الأشعة تحت الحمراء الحرارية	Infra-Rouge Thermique	IRT
كاميرا ذات مجال رؤية واسع	Wide Field of View Camera	WFC
المركز الوطني للملاحة	National Aeronautics and	NASA

الجوية وإدارة الفضاء	Space Administration	
مؤشر امتصاص الهباء الجوي	Absorbing Aerosol Index	AAI
الأشعة تحت الحمراء	Infra-Rouge	IR
تحليل متعدد التخصصات للرياح الموسمية الإفريقية	Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine	AMMA
وحدة قياس القصور الذاتي	Inertial Measurement Unit	IMU

قائمة الرموز

الرمز	تسمية الرموز	الوحدة
$\vec{\tau}$	قوة الاحتكاك على السطح	Pa
\vec{p}	الثقل	Pa
\vec{I}_P	قوة التماسك بين الجسيمات	N
\vec{F}_c	القوى الشعرية	N
D_P	قطر حبة الرمل	M
\vec{F}_u	القوة الناتجة عن الحركة الميكانيكية للرياح	N
\vec{F}_r	القوة الناتجة (القوة المحصلة)	N
u_z	متوسط عتبة رياح السطح المطلوبة لرفع الجزيئات	m/s
u_*	سرعة الاحتكاك (م/ث) و عادة ما تعطى ب (سم/ث)	m/s
μ_a	معامل اللزوجة الحركية للهواء	Pa/s
ρ_a	الكتلة الحجمية للهواء	kg/m ³
K	ثابت فون كارمان K=0.38	بدون وحدة
Z و Z ₀	خشونة السطح	m أو μm
I_{MEAS}	الإشعاع المسترجع على طول الموجة المقاسة	nm
I_{CAL}	الإشعاع المسترجع على طول الموجة المحسوبة	nm
$I(\lambda)$	قيمة الإشعاع بعد اختراق الوسط	nm
$I_0(\lambda)$	الإشعاع الضوئي لمصدر قبل اختراق وسط معين	nm
$\tau(\lambda)$	الجزء الضائع عبر الوسط عن طريق الامتصاص والانتشار	Pa
$k_{ext}(r)$	معامل التوهين	بدون وحدة
$\alpha(\lambda)$	معامل الامتصاص	cm ⁻¹
$Ni\sigma_i^{abs}$	معامل تبعثر الضوء	cm ⁻¹
c	ثابت الجملة	بدون وحدة
W	طاقة النبضة الليزرية المرسلة	mj
$n_p(R)$	الكثافة العددية للجسيمات	g/cm ³
$\sigma(b)$	المقطع الفعال للتبعثر الراجع	m
$\sigma(\lambda)$	المقطع الفعال للامتصاص	m
N(r)	تركيز الجزيئات الماصة	mol/cm
α	معامل أنجستروم	بدون وحدة

بدون وحدة	معامل الانتشار (التبعثر)	β
بدون وحدة	سمك الهباء البصري	T

المقدمة العامة

تعتبر البيئة الصحراوية من أكثر البيئات الحيوية، حيث تتميز بالجفاف الشديد وقلة الموارد خصوصا المائية التي تكاد تكون معدومة في معظم مناطقها، وقليلة جدا في بعضها، وذلك بسبب قلة الأمطار فيها وطبيعة تربتها التي لا تستطيع الاحتفاظ بالمياه لفترة طويلة مما انعكس بطريقة مباشرة عليها وأصبحت جافة وقاحلة.

عموما تقع الصحاري في المنطقة المدارية وتتوافق مع فروع هبوط خلايا هادلي. تتمتع الصحراء الوسطى بخصائص مناخية و جيومورفولوجية يمكن أين يكون لها تأثير على مستويات مختلفة. على مقياس الدوران العام تشمل هذه المنطقة خلال فصل الصيف منطقة التقارب المداري (Z.C.I.T)، إضافة إلى ذلك فإن ظاهرة انتقال الرمل والهباء الصحراوي هي حقيقة كوكبية، ترتبط طبيعة الصحراء أولا بمفهوم الجفاف، لأن الملاحظات الأولى على هطول الأمطار تشير إلى أن قلب الصحراء جاف للغاية وأن الحدود الشمالية والجنوبية تستقبل 100 إلى 200 ملم من الأمطار سنويا.

يأتي الهباء المعدني بشكل رئيسي من المناطق القاحلة وشبه القاحلة من الكرة الأرضية وتقع على جانبي خط الاستواء في حزام الأعاصير المضادة الاستوائية، ومن هنا جاء اسم الهباء الصحراوي، حيث يمثل الهباء الصحراوي حاليا أول مصدر للهباء الطبيعي الموجود في الهواء. هناك تقنيات كثيرة ومتعددة لملاحظة وقياس الهباء الصحراوي من بينها تقنية الليدار كتقنية من تقنيات الاستشعار عن بعد.

للاستشعار عن بعد أهمية كبيرة في دراسة الهباء الصحراوي لكن تقنيات البحث المستعملة لا تحدد بدقة نوع الحالة الغبارية أو كيفية تشكلها أو معرفة مكوناتها لذلك وجب علينا الانتقال إلى وسائل القياس والملاحظة الجديدة والمتمثلة بالاستشعار عن بعد بواسطة ليدار.

يهدف عملنا هذا لدراسة الخصائص الفيزيائية والبصرية المتعلقة بالهباء الصحراوي وذلك باستعمال خرائط الضغط السطحي والرياح و الارتفاع الجهدى (Geopotential)، الوضعية السطحية في مواقع الدراسة باستعمال الرياح والرؤية، بالإضافة للنماذج العديدة كنموذج DREAM و نموذج NAAPS وأخيرا المتابعة بواسطة ليدار CALIOP.

ينقسم عملنا إلى أربعة فصول حيث قمنا في الفصل الأول بدراسة الهباء الصحراوي من خلال التطرق إلى دورة الهباء الصحراوي (الانبعاث، الانتقال، والترسب....)، بالإضافة إلى الآلية الفيزيائية لحركة الرمال.

أما الفصل الثاني قمنا بدراسة ملاحظة وقياس الهباء الصحراوي حيث تطرقنا إلى الاستشعار عن بعد (تعريفه، مبداه، العمليات المكونة له وأخيرا تطبيقاته)، بالإضافة إلى تقنيات الاستشعار عن بعد المختلفة، و الوسائل المستخدمة في ملاحظة الهباء الصحراوي سواء وسائل أرضية أو وسائل فضائية.

في الفصل الثالث قمنا بدراسة ليدار الهباء الجوي من خلال التطرق إلى مفهوم تقنية الليدار والمبدأ الذي يقوم عليه الليدار، و أنواعه وتوضيح إيجابيات وسلبيات الليدار.

ليتم في الفصل الرابع عرض النتائج على بعض المناطق في الجنوب الجزائري وتحليلها.

الفصل الأول :

الهباء الصحراوي

I-1-1- مقدمة :

إن تحرك وانتشار الغبار في الغلاف الجوي شائع في المناطق الصحراوية, الهباء الصحراوي ظاهرة شائعة في المناطق الجافة وشبه الجافة والتي تتميز بالجفاف ونذرة الأمطار. كل عام يتم حقن كميات كبيرة في الغلاف الجوي نتيجة لذلك , وانخفاض الرؤية , وتدهور جودة الهواء وتخفيف الإشعاع الشمسي. سنتطرق في هذا الفصل إلى مفهوم الهباء الجوي والصحراوي.

I-2- الهباء الجوي :**I-2-1- تعريف الهباء الجوي:**

عبارة عن جسيمات معلقة في الهواء، تتكون من مواد صلبة أو سائلة حيث تشكل هذه الجسيمات المعلقة المعدنية أو العضوية، الكبيرة أو الدقيقة مجموعة غير متجانسة من الملوثات التي يتراوح حجمها من عشرات نانومتر إلى مئات ميكرومتر. كما تشارك هذه الجسيمات في دورة المياه، ولا سيما أثناء تشكل الغيوم والضباب وهطول الأمطار، يمكن أن تؤثر هذه الملوثات على المناخ عن طريق امتصاص أو نشر الإشعاع الشمسي [1]. وتنقسم مصادر الهباء الجوي إلى مصدرين:

I-2-1-1- مصادر ابتدائية :

الغبار الصحراوي ورذاذ البحر و جميع عمليات الاحتراق, خاصة الرماد و حرائق الغابات البركانية أو حتى الغبار الصناعي. [2]

I-2-1-2- مصادر ثانوية :

عن طريق تحويل جزيئات الغاز (الكبريتات، المركبات العضوية). تنبعث بعض الجزيئات من العمليات الطبيعية (تآكل التربة، رذاذ المحيط)، ويأتي البعض الآخر من النشاط البشري (احتراق الكتلة الحيوية، حرائق المداخل، والحرائق الزراعية و حرائق الحدائق وهي المصدر الرئيسي للانبعاثات الكربونية في فترة الشتاء في أوروبا، النشاط الصناعي، ولاسيما محطات الطاقة التي تعمل بالفحم والمحارق من الجيل القديم، و أراضي النفط أو الغاز، وحركة مرور السيارات، و نفايات الطائرات، و أعمدة المداخل من السفن التجارية أو السفن الحربية التي تستخدم زيت الوقود الثقيل، وما إلى ذلك). [2]

I-2-2- تصنيف الهباء الجوي:

هناك عدة تصنيفات محتملة للجسيمات، وللجسيمات عدة تصنيفات بناءً على المعايير، مثل أحجامها ووقت بقائها في الغلاف الجوي، بالإضافة إلى المصدر، وفقاً لترتيب حجم نصف القطر r للجسيم (يفترض أنه كروي)، يمكن التمييز بين ثلاث فئات (Junge, 1958; Whitby, 1976):

✓ جسيمات Aitken : $(0,001 < r < 0,1 \mu m)$

✓ الجسيمات الدقيقة (طريقة التراكم): $(0,1 < r < 1 \mu m)$

✓ الجسيمات الخشنة (الوضع الخشن): $(1 < r < 100 \mu m)$

تشكل الجسيمات من وضع التراكم الجزء الأكبر من نوى التكتيف في عملية تكوين السحب والضباب. يمثل الهباء الجوي دون الميكرون (أنماط Aitken و التراكم) معظم عدد جسيمات الغلاف الجوي (Jung, 1958). من ناحية أخرى تمثل الجسيمات فوق الميكرون في الوضع الخشن، عددا أقل بسبب ارتفاع معدل الترسيب، الجزء الأكبر من كتلة الهباء الجوي ويتم ملاحظته بشكل أساسي بالقرب من المصادر الشكل (1-I). [1]



الشكل (1-I): صورة توضح الهباء الجوي في الغلاف الجوي [3]

I-2-3- أنواع الهباء الجوي:

هناك أكثر من نوع للهباء الجوي في غلاف الأرض، هذه الأنواع تختلف في الشكل، والحجم، والتركيب الكيميائي ومن بين هذه الأنواع نذكر منها: [4]

I-2-3-1- الكربون الأسود :

يقوم الكربون الأسود بدوره في الإشعاع الشمسي حيث يعمل على امتصاص الأشعة الواردة التي تعمل على تدفئة طبقة التروبوسفير التي تحيط بغلاف الأرض، ويمكن أن تظل الجسيمات في الفضاء أو تترسب على الجليد والثلج في الأماكن الباردة.

I-2-3-2- الغبار المعدني:

من ضمن أنواع جسيمات الهباء الجوي هو الغبار المعدني، يقوم بامتصاص الإشعاع الشمسي الوارد من الشمس أو تشتيت هذا الإشعاع بشكل عشوائي، فهو يقوم بعدة أدوار ولكن التشتت هو الدور الغالب في جسيمات الغبار المعدني.

ويؤثر على طبقة التروبوسفير تأثير قوي بالتبريد، حيث انه عندما ينفجر الغبار فوق المسطحات المائية، والبحار والمحيطات فإن الأشعة تشتت بشكل سطحي على المحيط.

I-2-3-3- ملح البحر:

تأثير هذه الجسيمات يتم إدخالها إلى طبقة الغلاف الموجودة حول الأرض، وذلك عن طريق التحكم في فقاعات الهواء وتكسيروها إلى جزيئات صغيرة تشبه رذاذ البحر تؤدي إلى تآكل في جزيئات الملح التي تترسب بفعل الرياح، وذلك يؤثر أيضا على طبقة التروبوسفير بشكل خاص.

I-2-3-4- الهباء العضوي:

جسيمات الهباء العضوي هي عبارة عن خليط من المركبات الكيميائية المختلفة التي تنتج من حرق الوقود الحيوي أو الوقود الأحفوري، بالإضافة إلى الانبعاثات التي تصدر من الطبيعة الحيوية والنظام البيئي. تنبعث جسيمات الهباء العضوي في شكل جزيئات أولية تتشكل في ظاهرة الضباب التي تتكون من تكثيف الغازات، وتكون منخفضة التطاير أو شبه متطايرة. وعلى الرغم من أن جسيمات الهباء الجوي جسيمات ضعيفة إلا أنها تؤثر على طبقة الأوزون بشكل كبير فهي تعتبر إحدى الغازات التي تسبب الاحتباس الحراري.

I-2-3-5- الهباء البركاني:

هذا النوع من الهباء الجوي هو عبارة عن جزيئات مختلفة نتيجة الامتصاص و التشتت للأشعة التي تسقط بسرعة كبيرة، و تعتبر هذه الجسيمات مكونة بشكل كبير للكبريتات وتؤثر على طبقة التروبوسفير تأثير بارد، فهي تؤدي إلى تكون ظاهرة البراكين الناتجة عن تكاثف السحب.

I-2-3-6- التكثيف السحابي:

تنشأ هذه الجسيمات على نقاط تكثيف نتيجة بخار الماء وهذا يؤدي إلى كثافة كمية كبيرة من الماء وتشكل قطرات كبيرة وقطرات صغيرة، هذه القطرات تؤثر على طبقة التروبوسفير بالتبريد.

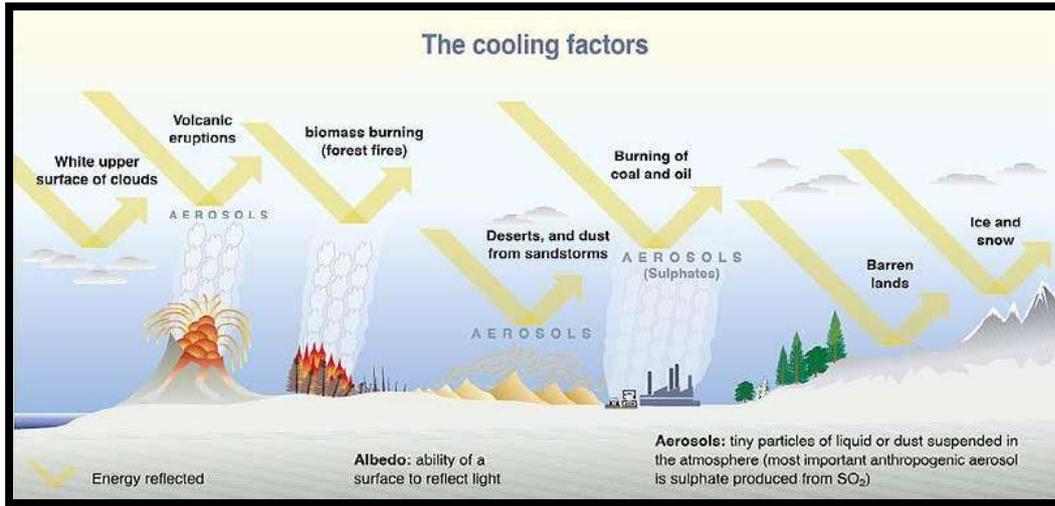
I-2-4- تأثير الهباء الجوي على المناخ :

يتفاعل الهباء الجوي مع النظام المناخي عن طريق العديد من التأثيرات الإشعاعية ، يتفاعل أيضا في الدورة الهيدرولوجية من خلال تفاعله مع السحب. حيث يمكنه الاقتراب من الإشعاع الشمسي وتشتيته وبالتالي يتسبب في التأثير الإشعاعي السلبي وهذا ما يسمى بالتأثير المباشر، بالإضافة إلى ذلك يمكن أن يؤثر وجوده على تكوين وانعكاس السحب وهذا ما يسمى بالتأثير الغير مباشر مما يؤدي مرة أخرى إلى التأثير السلبي.

التأثير الإشعاعي المباشر في الأشعة تحت الحمراء الحرارية منخفض بالنسبة للهباء الجوي وصغير الحجم، ولكن يمكن أن يصبح مهما في جسيمات الوضع الخشنة، من خلال هذين التأثيرين يؤثر الهباء الجوي بشكل كبير على توازن إشعاع الأرض. نظرا لصغر حجمها فإن هذه الجسيمات تخضع لانتقال جوي بعيد المدى (عدة آلاف الكيلومترات)، وتعني هذه القدرة على النقل أن الهباء الجوي بالنسبة لبعض النظم البيئية وعناصر معينة يشكل الناقل الرئيسي لدورها البيوجيوكيميائية.

وقد تم تحديد هذين التأثيرين كميا ولكن لا تزال هناك شكوك كبيرة للغاية ، خاصة فيما يتعلق بالتأثير الغير مباشر وقد تم طرح التأثيرات المحتملة للهباء الجوي على النظام المناخي (زيادة عمر السحب، التدفئة المحلية بسبب امتصاص الهباء الجوي) ولكن من الصعب تقدير آثارها في الوضع الحالي للمعرفة العلمية.

يبلغ قطر الهباء الجوي الذي يتم نقله عبر مسافات طويلة عبر الغلاف الجوي للأرض أقل من 10 ميكرون ويبلغ قطر معظم الجسيمات أقل من 3 ميكرون، في نطاق الحجم هذا يؤثر بشكل مباشر على التوازن الإشعاعي للأرض من خلال امتصاص ونشر الإشعاع الكهرومغناطيسي الشمسي و الأشعة تحت الحمراء الشكل (2-I). يعتمد التأثير الإشعاعي المباشر على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبصرية بما في ذلك توزيع حجم الجسيمات، اللون والشكل. [5]



الشكل (2-I): عوامل التبريد في الغلاف الجوي [6]

I-2-5- الخصائص الكيميائية للهباء الجوي:

التركيبات الكيميائية للجسيمات في الغلاف الجوي كثيرة ومتنوعة ومعقدة، لذلك لا تسمح تقنيات البحث والقياس الحديثة من دراستها ومعرفة مكوناتها. عمل كلين سنة 1995 توضيح ينص على أنه يمكن تحديد مختلف الأنواع الكيميائية للهباء الجوي في الغلاف الجوي لكن الإشكالية تكمن في وصف التركيبة الكيميائية للهباء الجوي لأنه يمكن أن تكون مختلف الأنواع الكيميائية المدروسة هي جزء صغير من الكتلة الكلية للجسيمات والمركبات العضوية والغير عضوية.

[7]

I-3- الهباء الصحراوي:

I-3-1- تعريف الهباء الصحراوي:

يعتبر الهباء الصحراوي جزءاً من عائلة الأنواع النادرة الموجودة في الغلاف الجوي في شكل جزيئات ويطلق عليه عادة الهباء الجوي يتم تصنيفه على أنه أولي مثل رذاذ البحر لأنه ينبعث مباشرة في شكل جزيئات في الغلاف الجوي تحت تأثير الرياح، حتى لو كان يتراوح قطرها بين بضعة أعشار و عدة عشرات من الميكرومترات فإن الهباء الصحراوي عبارة عن جزيئات خشنة تساهم بشكل أساسي في وضع ميكرومترية للهباء الجوي. [8]

يتم إنتاجه في المناطق القاحلة وشبه القاحلة (هطول الأمطار أقل من 200 مم/ سنة) التي تقع تحت فرع الهبوط لخلية هادلي. المنطقة التي بها كمية كبيرة من الغبار تقع في صحراء إفريقيا

والصحاري في آسيا، على الرغم من أن الكميات المنبعثة صغيرة نسبياً إلا أن هناك مصادر أخرى مثل جنوب إفريقيا وأمريكا الجنوبية وأستراليا. [9]

I-3-2- مصادر الهباء الصحراوي:

تقع المناطق المنتجة التي تعد مصدر للغبار والرمال في المناطق القاحلة وشبه قاحلة، هذه هي المناطق الصحراوية والسهول حيث يبلغ معدل هطول الأمطار السنوي أقل من 200 مم سنوياً.

يأتي الهباء الصحراوي على المستوى العالمي من عشرة مصادر رئيسية وهي:

• بحر سالتون (جنوب كاليفورنيا).

• باتاغونيا (الأرجنتين، الشيلي).

• ألتيلانو (كورديليرا جبال الأنديز).

• منطقة الساحل (غرب إفريقيا).

• الصحراء الكبرى (شمال إفريقيا).

• الصحراء الناميبية (جنوب إفريقيا).

• واد السند (باكستان، الهند).

• صحراء تاكلاماكان (الصين).

• صحراء جوبي (منغوليا).

• حوض بحيرة آير (أستراليا). [10]

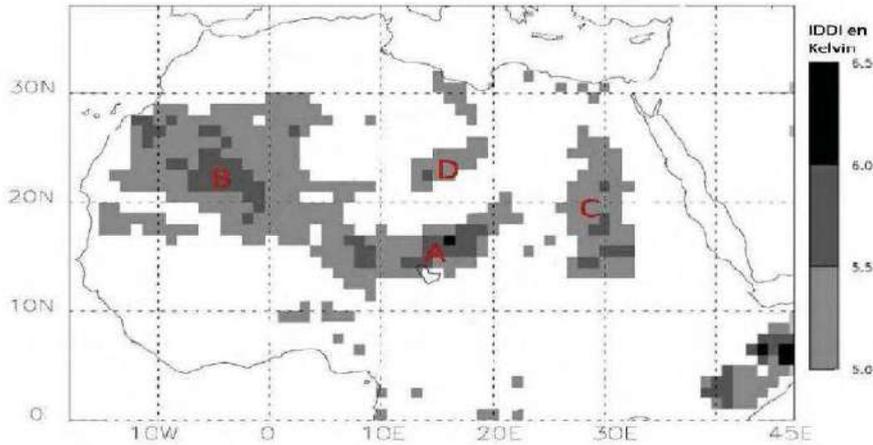
بالإضافة إلى أربع مناطق رئيسية في شمال إفريقيا الشكل (I-3) وهي :

A - عرق BILMA الواقع في صحراء تينيري و التي تمتد من شمال شرق النيجر إلى غرب التشاد.

B - عرق IGUIDI وعرق CHECH وهي منطقة شاسعة من الكثبان الرملية تمتد من الوسط إلى أقصى الجنوب الغربي من الصحراء بين الجنوب الجزائري وموريتانيا.

C - الصحراء الواقعة في شمال السودان وجنوب مصر.

D - الصحراء الواقعة في شمال النيجر وجنوب ليبيا. [11]



الشكل (3-I): موقع مناطق المصدر الرئيسية للهباء الصحراوي في شمال إفريقيا من مؤشر [12] IDDI

I-3-3- دورة الغبار:

لدورة الغبار عدة مراحل يجب أن تمر عليها وتتمثل هذه المراحل في الآتي:

I-3-3-1- الدوامة الترابية الغبارية:

ظاهرة تحدث في المناطق الصحراوية وخاصة في الأيام الصافية والحارة، وترفع الغبار أو الرمل أو أي شيء مفكك من سطح الأرض، وتدور فيها سحابة الغبار بسرعة كبيرة في صورة أسطوانة دوامية صغيرة القطر في اتجاه عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة وتستمر لفترة قصيرة وفي بعض الأحيان تستمر لعدة ساعات ويتراوح قطرها بين عدة أمتار إلى عشرات الأمتار أما الارتفاع فيتراوح ما بين 1000 متر إلى 2000 متر الشكل (4-I). [13]



الشكل (4-I): صورة توضح دوامة ترابية على شكل أسطوانة [13]

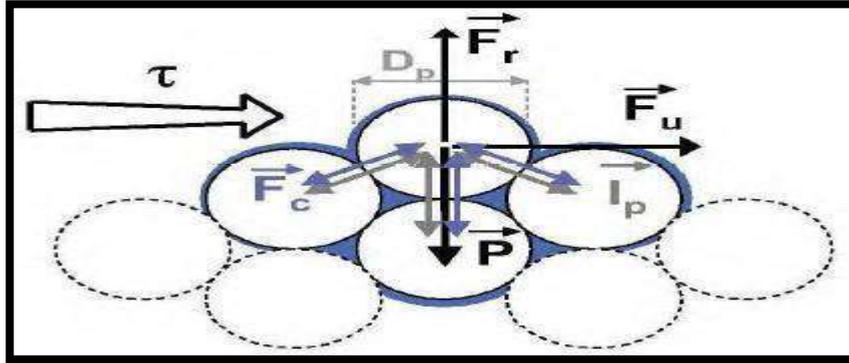
I-3-3-2- الظروف الديناميكية عند بدأ عاصفة رملية:

تعتبر عملية تحريك الجزيئات ظاهرة تعتمد بشكل أساسي على طبيعة التربة (خشونة، حجم، كتلة، رطوبة التربة) و الرياح (السرعة والاتجاه)، حيث أن الرياح في حركتها تمارس الإجهاد الديناميكي الهوائي على السطح وفق هذا الأخير الشكل (5-I).

قوة الاحتكاك على السطح تميل إلى سحب جزيئات الرمل من الأرض، قوة الثقل p ، قوة التماسك بين الجسيمات، القوة الشعرية التي تكون مهمة عندما تكون التربة تحتوي على نسبة كبيرة من الماء السائل تميل إلى الاحتفاظ بها على الأرض.

$$\vec{\tau} = \vec{p} + \vec{I}_p + \vec{F}_c$$

بالقرب من السطح، تمثل الرياح تدرجا رأسيا حيث تعتمد قوته على قدرة التربة على إبطاء تدفق الهواء، قوة الاحتكاك للرياح تمارس على الحبيبات ذات الحساسية العالية جدا للتغيرات في خصائص السطح المرتبطة بوجود الغطاء الصخري أو النباتي.



الشكل (5-I): صورة توضح توازن القوى التي تتعرض لها حبة رمل D_p ذات القطر تحت إجهاد القص τ . [14]

(D_p) : قطر حبة الرمل.

(\vec{F}_u) : القوة الناتجة عن الحركة الديناميكية للرياح.

(τ) : جهد القص.

(\vec{P}) : ثقل الجسيم.

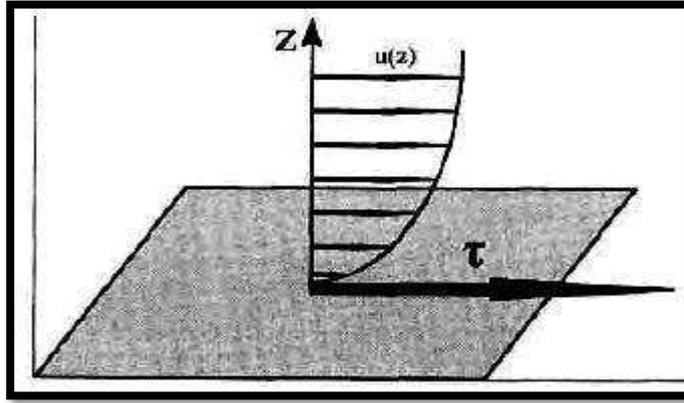
(\vec{I}_p) : قوى الجسيمات.

(\vec{F}_c) : القوة الشعرية.

(\vec{F}_r) : القوة الناتجة (القوة المحصلة).

لحساب هذه القوة يتطلب وجود علاقة بين الرياح فوق الأرض، الطبيعة الفيزيائية للتربة وتأثير الرياح الوسطية السينوبتيكية على حبيبات التربة في الطبقة الحدودية للتربة CLS. من أجل تدفق رقائقي على السطح الأفقي يرتبط إجهاد القص τ والذي تمارسه الرياح على السطح بالتدرج العمودي لسرعة الرياح u الشكل (6-I) وفق العلاقة الآتية :

$$\tau = \mu_a \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho_a u_*^2$$



الشكل (6-I): تمثيل تأثير التربة على تدفق الهواء وإجهاد القص τ الذي يمارسه التدفق على الأرض [15]

غالبًا ما تفسر قوة الاحتكاك على أنها دالة لسرعة الاحتكاك (u_*)، المعادلة هي بعد فيزيائي يستعمل لقياس قوى الاحتكاك التي تسببها الرياح على السطح. [9] فيزيائيا، تمثل سرعة الاحتكاك معدل الزيادة في سرعة الرياح بدالة لوغاريتم الارتفاع بالقرب من سطح الأرض في الطبقة CLS، يتم تحديدها في نظام محايد من متوسط سرعة الرياح المقاسة على ارتفاع (Z) من الأرض كما أنها تتميز بالخشونة (Z_0). من أجل $Z_0 > Z$:

$$u_* = k \left[\frac{u(z)}{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \right]$$

u_z : متوسط سرعة الرياح الأفقية (m/s) على الارتفاع (z) في CLS.

u_* : سرعة الاحتكاك m/s.

μ_a : معامل اللزوجة الحركية للهواء.

ρ_a : الكتلة الحجمية للهواء.

k : 0.38 ثابت فون كارمان.

Z و Z_0 : خشونة السطح.

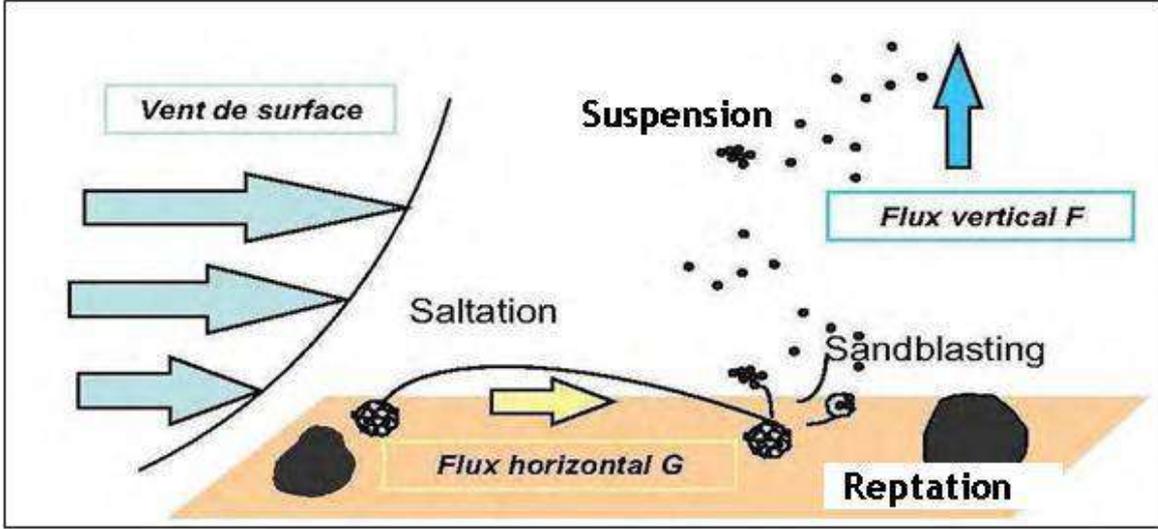
اعتمادا على طبيعة سطح الأرض، متوسط عتبة الرياح السطحية $u(z)$ المطلوبة لرفع

الجزئيات ليس هو نفسه. [9]

I-3-3-3- أنماط حركة جزئيات الغبار والرمل:

تعتمد عملية رفع جزئيات الغبار والرمل على الديناميكية القريبة من سطح الأرض والتي يتم التحكم فيها بواسطة شدة الرياح ورطوبة التربة، فنجد أن نسيج التربة والغطاء الأرضي يزداد مع حجم الجزئيات لأنها أثقل وبالتالي يصعب التقاطها بسبب الجاذبية.

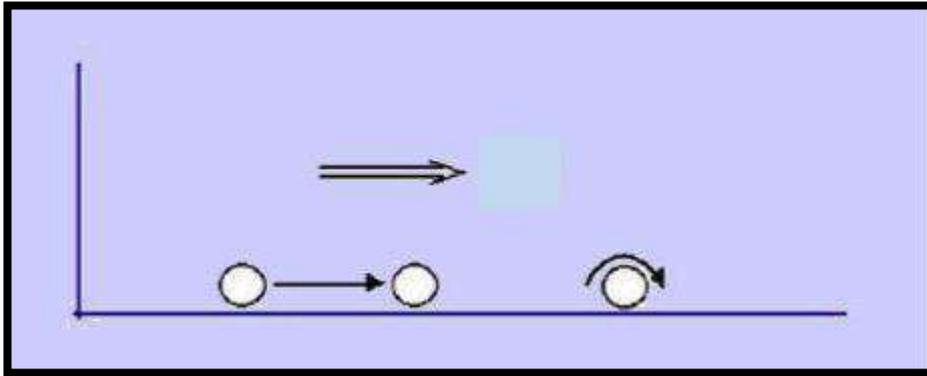
إذا كانت الجسيمات صغيرة بما يكفي، فتكون قيمة عتبة الرياح عالية لأنه يجب عليها كسر قوة التماسكات القوية الكافية عن طريق الحفاظ على الجزيئات الصغيرة معا، ترتبط الظواهر التي تحكم تعبئة الجزيئات بالرياح بالتدفق الأفقي والتدفق الرأسي للرياح. [16]
تم تحديد ثلاث طرق لحركة جزيئات الرياح التي تؤثر على الجسيمات ذات الأحجام المتزايدة الشكل (7-I).



الشكل (7-I) : رسم تخطيطي للعمليات الرئيسية المتضمنة في انبعاث الهباء الصحراوي. [9]

1-3-3-3-I- الزحف: (LA REPTATION):

يتعلق بالجزيئات التي يزيد قطرها عن 2 مم، لأنها ضخمة جدا حيث لا يمكن رفعها، لكن حركة القصر في الرياح على مستوى سطح الأرض تتمكن من تحريكها أفقيا عن طريق الإزاحة الأفقية الشكل (8-I). كما تساعد الجسيمات الكبيرة والرياح الضعيفة على الانزلاق. [17]

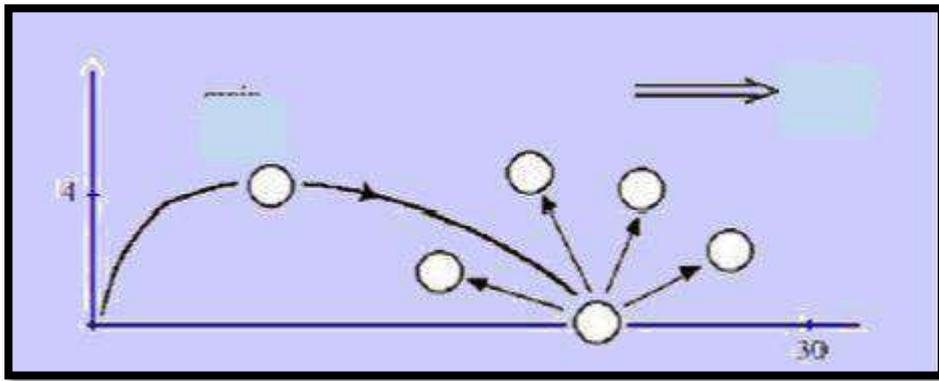


الشكل (8-I) : عملية الزحف (La reptation) [9]

I-3-3-2-القفز (LA SALTATION):

يؤثر على الجسيمات التي يصل قطرها إلى $100 \mu m$ ، بعد ارتفاعها يتم نقل الجزيئات إلى بضعة سنتيمترات.

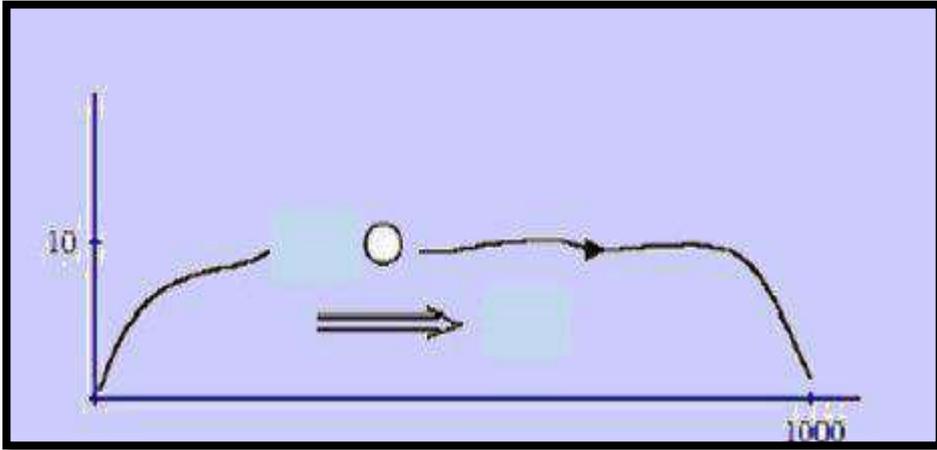
أو حتى بضعة أمتار من الأرض للبقاء في الهواء، يجب أن تكون قوة الجاذبية المتعلقة بحجم الجسيم ورفع الهواء في حالة توازن على الأقل، فتسقط الجزيئات بسرعة أكبر بالقرب من مصدرها، يمكن أن تشكل تجمعات على الرغم من أن الزيادة في سرعة الرياح تدريجياً تبقى الجزيئات الكبيرة معلقة، عند تأثير الجسيمات الدقيقة سيتم تشكيلها وتعبئتها وبدورها إذا عادت الجسيمات المرتفعة إلى الأرض واصطدمت بجسيمات أخرى، فإنها ترتد إلى الأعلى أو إلى الأمام وتستمر العملية الشكل (I-9). كما أن القفز هو عملية نشطة للغاية لتعبئة وتحريك الجزيئات، يمكن أيضاً نقل الجسيمات الدقيقة بعيداً. [18]



الشكل (I-9): عملية القفز (La saltation) [14]

I-3-3-3-التعليق (LA SUSPENSION):

في هذه العملية يتم رفع المواد الرسوبية عن طريق الهواء ويتم تعليقها بواسطة الرياح. إذا كانت الجسيمات صغيرة بدرجة كافية (قطرها أقل من عشرة ميكرومتر) تبقى معلقة لمدة طويلة بفعل التيارات الصاعدة القوية والقادرة على حمل أوزانها الشكل (I-10). أثناء انتقالها في الجو يمكن أن تبقى الجزيئات لمدة قصيرة فيه ويكون حجمها يتراوح ما بين (20 و70 ميكرون) وطويلة المدى (جسيماتها أكبر من 20 ميكرون) وتبقى في الطبقات العليا من الغلاف الجوي بحيث يتم نقلها بواسطة التيارات الهوائية عبر مسافات طويلة، بعيداً عن مصدرها عن طريق ديناميكية الغلاف الجوي الواسعة النطاق. لوحظ أن الرياح القوية يمكن أن ترفع جزيئات الغبار العالقة حتى آلاف من الكيلومترات باتجاه المصب البعيد فوق سطح الأرض وتحملها عدة آلاف من الكيلومترات باتجاه مجرى من الدوامات المضطربة والمتجدد من أجل الحفاظ عليها معلقة، وبالتالي تعتمد نسبة الجزيئات المتنقلة على حجمها ومحتواها المعدني إذن يجب تقدير أهمية هذه العملية لكل أنواع التربة. [19]



الشكل (10-I) : عملية التعليق (La suspension) [19]

I-3-3-4- آليات رفع جزيئات الغبار والرمل:

تعتبر تعبئة الغبار بواسطة الرياح ظاهرة طبيعية مقيدة بخصائص السطح (الغطاء النباتي، خشونة التربة، الرطوبة...) و سرعة الرياح بالقرب من السطح، ليتم تحريك عاصفة رملية يجب أن تكون سرعة الرياح قوية جدا من الأرض على سمك طبقة الحدود السطحية CLS (سمك الطبقة CLS لا يتجاوز العشر تلك الطبقة الحدية) أي بضع عشرات من الأمتار لرفع جزيئات الغبار والرمل، في حين أكدت الملاحظات والتجارب العلمية أن هناك علاقة غير خطية بين حجم الجسيمات التي رفعت وسرعة الرياح، إضافة على ذلك فإن الجسيمات ترتفع فقط من سرعة العتبة. هذا الحد الأدنى لسرعة الرياح اللازمة لتعبئة الجسيمات في المناطق القاحلة وشبه القاحلة حيث تقدر سرعة العتبة هذه بـ 6m/s [20].

الجدول (1-I): يبين سرعة الرياح اللازمة لرفع الجزيئات في بيئات مختلفة المصادر. أول جزيئات الغبار والرمل المحمولة هي التي يتراوح قطرها بين 0.008 و 1 ملم ، وهذا يتطلب سرعة بين 5 و 13 متر/ ثانية.

البيئة	سرعة عتبة الرياح m/s
الرملية الكثبان تقترب من المتوسط	8-5
المناطق الرملية مع المناطق الحجرية الصغيرة	10
مواد نهائية، الصحراء المسطحة	13-10
واد الطمي ، منخفضات القشرة المالحة	18-13
صحراء الحصى	20

الجدول (1-I) : سرعة عتبة رفع الغبار لبيئات صحراوية مختلفة.

يتطلب رفع الغبار اضطراب كبير في طبقة الحدود السطحية ، إن عملية القصر للرياح عادة تحدث اضطرابات و دوامات أفقية تعمل على رفع الغبار. وفق للنتائج التجريبية التي تشير أن الرياح تهب بسرعة 8 M/S على الأرض، يجب أن تكون سرعتها على ارتفاع 305 متر فوق سطح الأرض حوالي 15 M/S للحفاظ على جزيئات الغبار معلقة.

عواصف الغبار (العواصف الترابية) تفضل أن تكون CLS غير المستقرة لأن الحركات الراقية ضرورية لرفع جزيئات الغبار، والعكس من ذلك فإن CLS المستقرة تعمل على تثبيط الحركات الرأسية وتمنع رفع الغبار.

لرفع الغبار يجب أن تكون الرياح مضطربة وتطيرها في محيط غير مستقر هناك مؤشر واحد لتفسير كل من سرعة الرياح ، الاضطراب والاستقرار في وقت واحد.

هذا المؤشر يدعى سرعة الاحتكاك (تركيز اللزوجة) أو بعبارة أدق يتناسب الغبار مع ديناميكا التدفق أو جهد التربة (الأرض)، سرعة الاحتكاك اللازمة لرفع التربة هي 6 M/S.

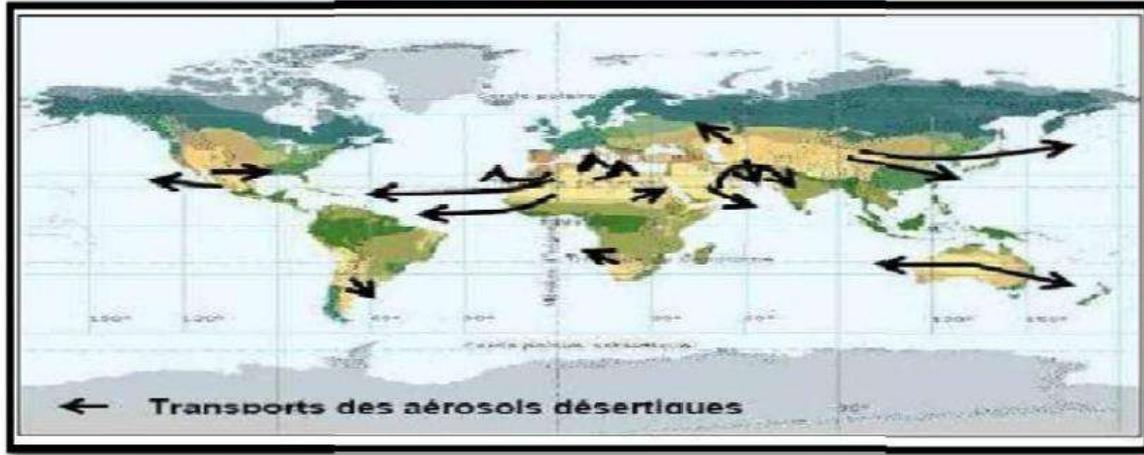
[21]

I-3-3-5- انتقال الهباء الصحراوي:

يشكل تدفق الهباء الجوي المتشكل في نهاية عملية الرفع، طبقة من الغبار تقع بالقرب من السطح والتي لها طابع رقائقي في غياب آليات الاضطراب ذات المنشأ الحراري (حركات الحمل الحراري) أو من أصل ديناميكي (فيما يتعلق بالظروف الجوية أو تأثير التضاريس). يمكن للجزيئات الناتجة عن التآكل إكانية الصعود في الطبقات العليا من الغلاف الجوي ونقلها على مسافات كبيرة.

يتم التحكم فيها بواسطة شدة الرياح، رطوبة التربة، نسيج التربة والغطاء الأرضي، هناك قدر كبير من التباين المكاني و الزماني في انبعاث الهباء الجوي الصحراوي، والتي تعتمد بشكل رئيسي على سرعة الرياح وظروف سطح التربة المكشوفة. كل هذا يؤدي إلى حقيقة أن انبعاث الجوي في الصحراء غالبا ما يكون لها دورة موسمية وتغيرات شديدة الوضوح بين السنوات، يمكن نقل الهباء الصحراوي على مسافات كبيرة بشكل رئيسي وفقا لاتجاهات النقل، يتم نقل أعمدة الهباء الجوي المنبعثة من شمال إفريقيا في الغالب غربا عبر المحيط الأطلسي، حيث يمكن أن يصل الهباء الصحراوي إلى جزر الهند الغربية في الصيف. خلال أشهر الشتاء يتم نقلهم عبر المحيط الأطلسي إلى أمريكا الجنوبية. [22]

من الواضح أن نقل الهباء الصحراوي المنبعث من منطقة الصحراء يعتمد على الدورة الجوية في الغلاف الجوي وعلى وجه الخصوص الضغوط الاستوائية العالية، مثل جزر الأزور، ومنطقة التقارب المدارية (Z.C.I.T). في فصلي الربيع والصيف، يتم نقلهم عرضيا إلى الشمال والشمال الشرقي، للوصول إلى البحر الأبيض المتوسط الشكل (I-11). [17]



الشكل (I-11): مسار مبدأ نقل الغبار الصحراوي. [9]

I-3-3-6- آليات ترسب الهباء الصحراوي:

بعد الانبعاث على ارتفاع من مناطق المصدر والانتقال في الغلاف الجوي، يكون الهباء الصحراوي قد دار منتصف الطريق حول الأرض، و بالتالي سيسقط الغبار في النهاية بالنمط الجاف أو الرطب الشكل (I-12). [23]

I-3-3-6-1- الترسيب الجاف:

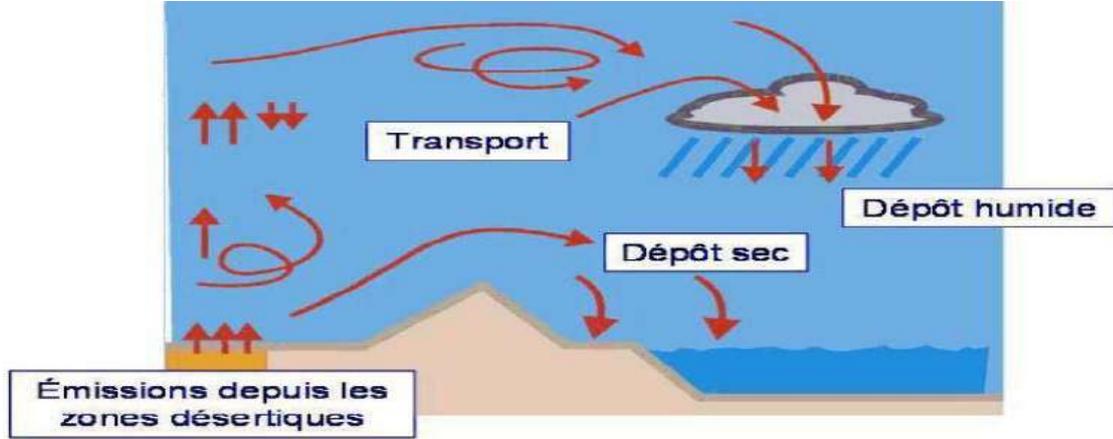
تنتهي دورة الهباء الصحراوي بترسب الجزيئات على مستوى القارات أو أسطح المحيطات، في ظروف الجو الرطبة أو الجافة حيث يتم التحكم في الترسيب الجاف بشكل أساسي بواسطة قوى الجاذبية، والتي تؤدي إلى ترسب الجسيمات. يعتمد الترسيب الجاف للجزيئات على عدة متغيرات مثل سرعة الرياح، سرعة الاحتكاك، شدة استقرار واضطراب الغلاف الجوي.

يعتمد معدل الترسيب من بين أمور أخرى على حجم الجسيم، يمكن أن يلعب الاضطراب دوراً في تعطيل تدفق الجزيئات، تكون سرعة ترسب الجزيئات أكبر إذا كان الاضطراب قريب من السطح.

I-3-3-6-2- الترسيب الرطب:

يحدث الترسيب الرطب عندما تكون كتلة الهواء المترية (المغبرة) مختلطة مع كتل الهواء الرطبة أو الملبدة بالغيوم، يمكن التقاط الجزيئات المعدنية مباشرة عن طريق هطول الأمطار أو قطرات داخل السحابة (التخثر مع قطرات الماء السائل أو تكوين نواة التكثيف). أغلب جزيئات الغبار تكون مسترطبة وبالتالي تجذب الماء في الواقع، عادة ما تشكل نواة سحابة التكثيف أو تكون موجودة تحت الغيوم ويتم تنظيفها ببساطة عن طريق سقوط قطرات من المطر، بسبب هذا التقارب للرطوبة ينظف هطول المطر بشكل فعال للغاية الغبار من طبقة التروبوسفير (الغبار المعلق في الهواء)، وتعرف هذه العملية بالمسح أو التمشيط.

معدل الترسيب يعتمد على معدل هطول الأمطار، ومعدل سقوط القطرات، الجسيمات التي يتراوح حجمها بين 0.1 إلى 1 ميكرون يكون لها أدنى معدلات الترسيب لذلك يتم ترسيبها في الغالب.



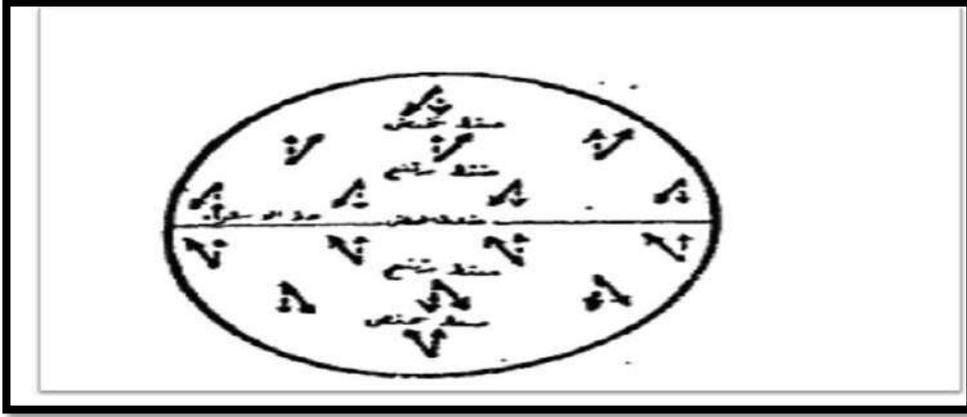
الشكل (I-12) : دورة الغبار (الانبعاث، النقل، وترسيب الهباء الصحراوي). [9]

I-3-4- الأنماط السينوبتيكية المثيرة للغبار الصحراوي:

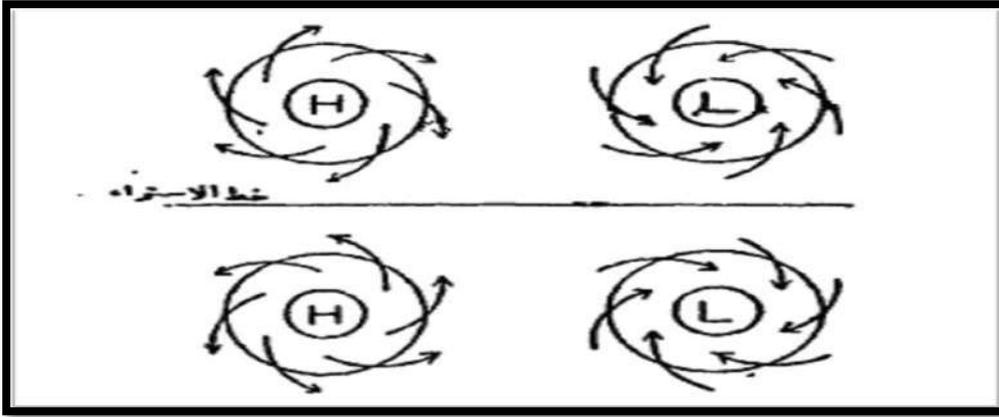
I-3-4-1- الرياح:

يقصد بالرياح أنها حركة الهواء سواء كانت سريعة أو بطيئة حيث يتحكم فيها عامل الضغط باختلافه من مكان إلى آخر الشكل (I-13).
دائماً تهب الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض، وتتحرف دائماً من اليمين في نصف الكرة الشمالي إلى اليسار في نصف الكرة الجنوبي الشكل (I-14).
سبب الانحراف هو قوة كوريوليس، وهو التأثير الناتج من دوران الأرض حول نفسها من الغرب إلى الشرق. [24]

وتتناقص سرعة دوران محيطها كلما اتجهنا من الدائرة الاستوائية نحو القطبين، حيث تبلغ سرعة الدوران 1700 كم/ ساعة على الدائرة الاستوائية، ثم تتناقص ناحية القطبين لتصل إلى نصفها عند دائرة عرض 60 ثم إلى الصفر عن القطب نفسه.
الرياح العامة في نصف الكرة الشمالي تتحرف نحو الغرب إذا كانت متجهة نحو خط الاستواء، ونحو الشرق إذا كانت متجهة نحو القطب الشمالي بينما يحدث العكس في النصف الجنوبي، كل هذا بمقتضى هذا الانحراف. [25]



الشكل (I-13): صورة لانحراف الرياح العامة [26]

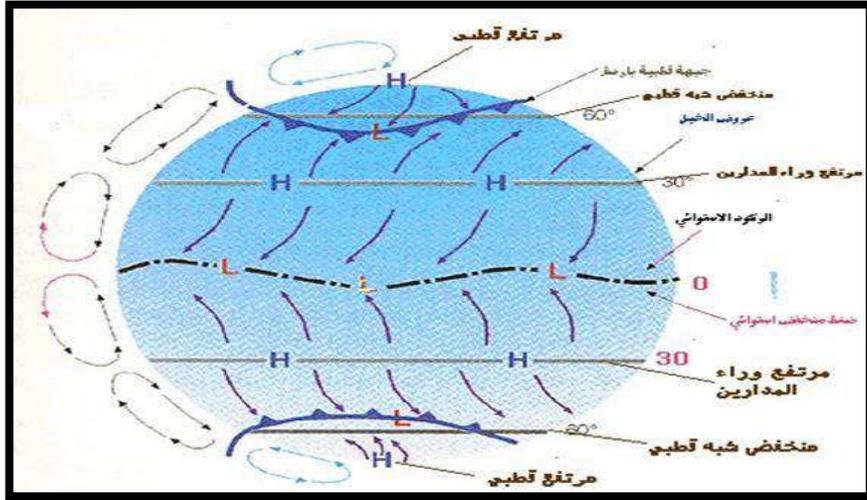


الشكل (I-14): صورة توضح اتجاه الرياح حول مراكز الضغط المرتفع ومراكز الضغط المنخفض في نصفي الكرة الأرضية [24]

I-3-4-2- الحركة العامة للرياح:

تتحرك الرياح أفقياً سواء قرب سطح الأرض أو في طبقات الجو العليا ولها دور كبير في حياة الإنسان، حيث تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر من خلال تأثيرها على البيئة المحيطة بالشكل (I-15).

يعتمد تأثير الرياح على الإنسان على ثلاثة عناصر رئيسية هي: سرعة الرياح، اتجاهها (وما تجلبه الرياح من مؤثرات طقسية مثل السحب)، الرطوبة (الحرارة وغيرها). سرعة الرياح ليست ثابتة فهي أحياناً تكون هادئة وأحياناً أخرى تكون متوسطة، وقد تصل إلى حد العاصفة بل قد تزيد عن هذا الحد وتصل إلى حالة الإعصار. كما أن كل سرعة من سرعات الرياح تمتلك أثر معين على الإنسان وبيئته. [9]



الشكل (I-15): صورة توضح الحركة العامة للرياح [25]

I-3-4-3- السبب الرئيسي في تكوين الدورة العامة للرياح:

طاقة الأشعة الشمسية التي تكتسبها الأرض، كذلك اختلاف درجة حرارة الهواء على سطح الأرض مما يسبب اختلافا في الضغط الجوي والذي بدوره يسبب حركة الهواء (الرياح). تأثير حركة الأرض هو وجود قوة الانحراف التي تؤثر بدورها على اتجاه حركة الهواء بحيث ينحرف لجهة اليمين في نصف الكرة الشمالي والى اليسار في نصف الكرة الجنوبي ونلاحظ ما يلي:

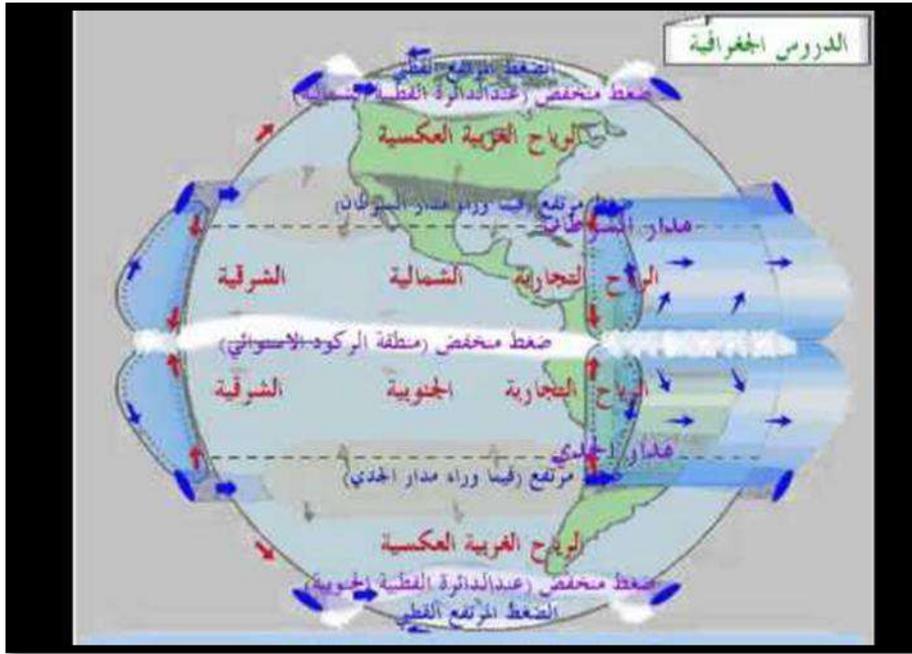
- وجود منخفض جوي في المناطق: المنطقة الاستوائية دائرة عرض 60° شمالا ودائرة عرض 60° جنوبا.

- وجود مرتفع في المناطق: دائرة عرض 30° شمالا ودائرة عرض 30° شمالي القطبين الشمالي والجنوبي. [9], [12]

I-4-4-3- الدورة العامة للرياح:

تهب الرياح حسب توزيعات الضغط المختلفة حسب قانون بايزبالو قاطعة تساوي الضغط بزواوية صغيرة من المرتفع إلى المنخفض الجوي، حيث ينتج تكون خلايا أساسية للهواء في كلا من نصف الكرة الشمالي ونصف الكرة الجنوبي، وهذه الخلايا موضحة في الصورة أدناه وبصفة أدق يمكن التفريق بين مناطق عدم الاستقرار عند حدود دائرة الاستواء وعند دائرتي عرض 60° شمالا و 60° جنوبا، ومناطق الاستقرار عند القطب الشمالي والجنوبي وعند دائرتي 30° شمالا و 30° جنوبا الشكل (I-16).

يصعد الهواء الساخن عند خط الاستواء وعند التقارب المداري Z.C.I.T متسببا في ظهور مكان الضغط المنخفض، ثم يبرد الهواء وينزل ليشكل خلايا هادلي (1)، تدفع خلايا هادلي خلايا فيرال (2) والخلايا القطبية (3) التي لا يمكن أن تتأثر باختلافات في درجة الحرارة بين الأماكن البعيدة والقريبة من القطبين. [9]



الشكل (I-16): صورة تمثل الدورة العامة للرياح [9]

I-3-4-5- أنواع الرياح:

- الرياح الدائمة
- الرياح الموسمية
- الرياح المحلية [25]

I-3-4-5-1- الرياح الدائمة:

وتنقسم إلى عدة أقسام :

I-3-4-5-1-1- الرياح التجارية:

أطلق عليها اسم تجارية لأن التجار كانوا يستفيدون منها عند تحريك سفنهم، حيث أنها تهب من مراكز الضغط العالي فوق المداري إلى مناطق الضغط المنخفض (الركود الاستوائي)، تكون منتظمة طوال السنة في اتجاهها وقوتها، تكون سرعتها تتراوح ما بين 16-20 كيلومتر في الساعة.

يكون اتجاهها شمالية شرقية في النصف الشمالي للكرة الأرضية وشمالية غربية في النصف الجنوبي.

I-3-4-5-1-2- الرياح العكسية / الغربية:

تهب من منطقتي الضغط المرتفع فوق المدارين إلى منطقتي الضغط المنخفض عند الدائرتين القطبيتين، يكون اتجاهها جنوبي غربي في النصف الشمالي للكرة الأرضية وشمالية غربية في النصف الجنوبي وتعرف بقلة انتظامها وعدم استقرارها هي رياح تنشأ لاختلافات الضغوط في مساحة صغيرة ولمدة أقصر.

I-3-1-5-4-3-1- الرياح القطبية:

تهب هذه الرياح من القطبين إلى منطقتي الضغط المنخفض عند الدائرتين القطبيتين، يكون اتجاهها شمالية شرقية في نصف الكرة الشمالي و جنوبية شرقية في النصف الجنوبي. تمتاز بأنها باردة وجافة، وغالبا ما تكون ضعيفة.

I-3-1-5-4-3-2- الرياح الموسمية:

سميت بالموسمية كونها تهب في مواسم معينة، تتميز بتغير اتجاهها في معظم الأحيان (فصل الصيف فصل الشتاء)، وتظهر بين المدارين ولها نوعين رياح موسمية شتوية و رياح موسمية صيفية. مثلا على ذلك تلك التي تهب على القارة الآسيوية خصوصا على الهند والهند الصينية (المنطقة التي بين الصين والهند)، الصين واليابان وكوريا.

I-3-1-5-4-3-3- الرياح المحلية:

هي رياح تنشأ لاختلافات الضغوط في مساحة صغيرة ولمدة أقصر، يكون سببها بعض العوامل مثلا التضاريس، حيث تنشأ في المنخفضات وتختلف عن الرياح الموسمية بأنها لا تشمل كل موسم بل تشمل فترات متقطعة. حيث تهب في مقدمة المنخفضات الجوية من الجنوب، لذا تكون حارة أو دافئة خصوصا في المنتصف الصيفي من السنة.

I-3-4-6- الجبهات:

هي منطقة انتقالية بين كتلتين هوائيتين مختلفتين في منطقة ما على الأرض، تتمتعان بخصائص مختلفة من حيث درجات الحرارة والرطوبة. ينتج التغير في الضغط الجوي أساسا عن التغيرات في الحرارة الذي يصل إلى الأجزاء المختلفة من سطح الأرض، حيث يؤدي الاختلاف في درجات الحرارة إلى تكون مناطق ذات ضغط مرتفع ومناطق أخرى ذات ضغط منخفض. تساعد سرعة دوران الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق إلى توجيه حركة الرياح على عدد من الخلايا الهوائية الكبيرة بعضها خلايا دافئة ورطبة ترتفع إلى أعلى لتكون السحب ممطرة، وبعضها خلايا باردة وجافة تهبط إلى أسفل، وبعضها خلايا متوسطة البرود والجفاف. يؤثر دوران الأرض حول محورها تأثيرا عموديا في حركة الرياح سرعة واتجاهها حيث يحرفها جهة اليمين في نصف الأرض الشمالي وجهة اليسار في النصف الجنوبي ويزداد هذا الأثر في طبقات الجو العليا بمعدلات أكبر مما يؤدي إلى تغيير اتجاه الرياح تدريجيا حتى يصبح موازي لخطوط تساوي الضغط، أما قريبا من سطح الأرض فإن الرياح لا تهب بموازاة خطوط تساوي الضغط تماما نظرا لاحتكاكها مع تضاريس سطح الأرض. عبور الجبهة الهوائية لمنطقة ما يؤثر في ظروفها المناخية تأثيرا بالغا، إذا كانت الجبهة باردة أدت إلى انخفاض درجة الحرارة وإلى تكون السحب الطباقية وإلى تشكل المطر، وإذا كانت الجبهة دافئة أدت إلى ارتفاع درجة الحرارة وإلى تكون السحب الركامية على هيئة أكوام مكدسة من السحاب فوق بعضها البعض بما يشبه سلاسل الجبال المفصولة بالأودية والأخاديد. تؤدي الكتل الهوائية الدافئة الرطبة إلى كل من السحاب والضباب والندى، ومع إرسال الرياح تتشكل السحب الطباقية وهي تتكون من طبقات تمتد أفقيا لمئات من الكيلومترات المربعة تعكس

الارتفاع المنتظم للهواء المشبع ببخار الماء عبر مساحات كبيرة, ولذلك فهي عادة ما تكون أغزر أنواع السحب إبطارا وأوسعها انتشارا, أما إذا كانت الكتل الهوائية دافئة وجافة فينتج عنها تكون الصقيع في الصباح الباكر أيام فصل الشتاء وإثارة الغبار والأتربة والزوابع الشديدة في فصل الصيف خاصة إذا رافقتها رياح شديدة السرعة نسبيا. [25]

I-3-4-7- المرتفعات الجوية:

يعرف المرتفع الجوي بأنه جزء من الهواء فوق منطقة معينة من الأرض يتميز بضغط أعلى من ضغط الهواء في المناطق المحيطة به, ومنها المرتفعات الجوية الدافئة التي تتشكل في المناطق شبه المدارية, وتتكون بسبب هبوط الهواء البارد من أعلى وانضغاطه, وبالتالي ارتفاع درجة حرارته مع زيادة ضغطه. وتدور الرياح حول المرتفع الجوي في اتجاه عقارب الساعة. [25]

I-3-4-7-1- المرتفع الجوي البارد:

يتكون نتيجة لتزايد كثافة الهواء بفعل ملامسته للسطوح الباردة وتولد من ذلك كتلة هوائية باردة تغطي مساحة هائلة ومن أشهر الأمثلة على هذا النوع من المرتفعات الباردة المرتفع الجوي السايبيري الذي يعرف بأنه أكبر المرتفعات الجوية اتساعا على الإطلاق. الهواء القريب من سطح الأرض في المرتفع البارد يتميز باستقرار نسبي ويصاحب ذلك طقس حسن وبرودة واضحة من الجفاف وفي حالات نادرة جدا يحدث هطول خفيف مصحوب بسحب, أما الطبقات العليا من هذا المرتفع فهي مضطربة وفيها رياح شديدة حيث تدور حول مرتفع المركز المرتفع الجوي و تهبط إلى قلبه بحركة دورانية لولبية موافقة لعقارب الساعة. [27]

I-3-4-7-2- المرتفع الجوي الدافئ:

عند الابتعاد عن المرتفعات الباردة التي تنشأ أصلا فوق المناطق القطبية والباردة سنجد أن تأثير التسخين الذاتي واضح تماما في المرتفعات الجوية, فقد أوضحنا عند الحديث عن المنخفض الجوي أن عمليات الصعود الحاصلة فيه تؤدي إلى تمدد الهواء مما يسبب تبريده (هذه الظاهرة تمثل موضوعا هاما في علم الديناميكا الحرارية) وبالتالي فمن المنطق أن عكس عملية التمدد سوف يسبب التسخين, وهذا ما يحصل بالضبط في المرتفع الجوي حيث يتضاغط الهواء القادم من قمم المنخفضات الجوية نزولا نحو الأسفل مما يسبب تسخيننا ذاتيا للهواء, ولذلك تسمى هـ هـ المرتفعات الجوية بالدافئة حيث يغلب عليها الارتفاع الواضح درجة الحرارة لكتلة الهواء قرب سطح الأرض وبالذات في فصل الصيف, وطبعا من المنطقي أن ظاهرة التسخين الذاتي ستعمل على تبخير أية سحب أو قطرات ماء عاققة في الجو ولهذا السبب تسود ظروف الجفاف والحر وصفاء الجو واستقرار الرياح والضغط الجوي لهذا النوع من المرتفعات في منطقتنا صيفا, ولكنها في مناطق أخرى من العالم تسبب الضباب والغيوم الطبقيية وبالذات عندما يكون الجو مشحونا بالرطوبة الكافية. [27]

I-3-4-8- المنخفضات الجوية:

يعرف المنخفض الجوي بأنه جزء من الهواء فوق منطقة معينة من الأرضي تميز بضغط أخفض من ضغط الهواء في المناطق المحيطة به، ومنها. [25]

I-3-4-8-1- المنخفض الجوي الحراري :

وهو عبارة عن منخفض جوي سبب تشكله يعود إلى صعود الهواء على مساحات واسعة عن طريق تيارات الحمل المتولدة بالتسخين العالي لسطح الأرض مم يحدث هبوطا في الضغط في تلك المنطقة.

ومن المنطقي أن النطاقات الجغرافية التي تتشكل فيها المنخفضات الحرارية هي تلك التي تتمتع بدرجة عالية لسطح الأرض حيث يسخن الهواء الملامس لسطح الأرض ويصعد بسرعة كبيرة وكميات هائلة فوق مساحات شاسعة مما يحدث الظاهرة الانخفاضية، من أكثر تأهلا لذلك المناطق الاستوائية وكذلك الجزر الصخرية الواسعة المحاطة بالماء، كما أن هذه المنخفضات تتولد فوق سطح المياه شتاء بسبب اختلاف الخصائص الفيزيائية الحرارية للماء واليابسة فمثلا يتشكل المنخفض الحراري الموسمي فوق شبه القارة الهندية نتيجة للعملية السابقة الذكر. عندما تكون هذه المنخفضات ترافقها ظروف عدم استقرار الجو مثل زيادة سرعة الرياح وتشكل السحب الركامية والتساقط الغزير، وغالبا ما تصاحب هذه المنخفضات رياح حارة جافة محملة بالغبار كما هو الحال في رياح الخماسين التي تستثار بفعل المنخفضات الجوية الحرارية. [28]

I-3-4-8-2- المنخفض الجوي الجبهي:

وينشأ عند التقاء جبهتين هوائيتين إحداهما دافئة و الأخرى باردة، فيصعد الهواء الدافئ إلى الأعلى، ويدخل الهواء البارد تحته فتتشكل كتلتان هوائيتان دافئة و باردة وتدور الرياح حول المنخفض الجوي في عكس اتجاه عقارب الساعة نحو الداخل وعلي ذلك فإن نمو المنخفض الجوي أو اضمحلاله يعتمد على معدل دخول الهواء فيه عند سطح الأرض ومعدل خروجه منه إلى أعلى وتتحرك الرياح من المرتفع الجوي إلى المنخفض الجوي قرب سطح الأرض. وفي الأجواء العليا تتحرك بشكل أفقي معاكس بالنسبة للمرتفع الجوي بمعنى يخرج من قم المنخفض الجوي بحركة دورانية ليتجه مع الاتجاه السائد للرياح العليا، بينما يدخل في قمة المرتفع الجوي هابطا إلى الأسفل ليخرج من قاعدته غالبا ما يكون التقاءهما فوق مناطق العروض المتوسطة كون أن الكتل الباردة تأتي من المناطق القطبية والكتل الدافئة تأتي من المناطق المدارية.

انحراف الكتل الهوائية نحو اليمين في نصف الكرة الشمالي، ونحو اليسار في نصف الكرة الجنوبي، يؤدي إلى التقاء الجبهتين وبالتالي تدور الرياح حول المنخفض في اتجاه عكس اتجاه عقارب الساعة. [28]

الفصل الثاني :

ملاحظة وقياس الهباء الصحراوي

II-1-1- مقدمة :

من الواضح أن تطور أي بلد ما يعتمد على جمع وحصر المعلومات الخاصة بالمواد الطبيعية والصناعية والاقتصادية وغيرها، وذلك لاستخدامها مستقبلاً. إذ أنها تعددت طرق ومصادر جمع المعلومات دون ملامسة للسطح، ومن أبرز الطرق ما يعرف بالاستشعار عن بعد، وأجهزة عالية الدقة والملاحظة. تطرقنا في هذا الفصل إلى التعرف عن الاستشعار عن بعد والمبدأ الذي يقوم عليه، بالإضافة إلى العمليات التي يتكون منها الاستشعار عن بعد مع ذكر بعض تطبيقاته. كما أننا تعرفنا على أجهزة ملاحظة الهباء الصحراوي فوق الأرض، والفضائية المحمولة على الأقمار الصناعية. وذكر بعض المؤشرات المستخدمة في الملاحظة والقياس.

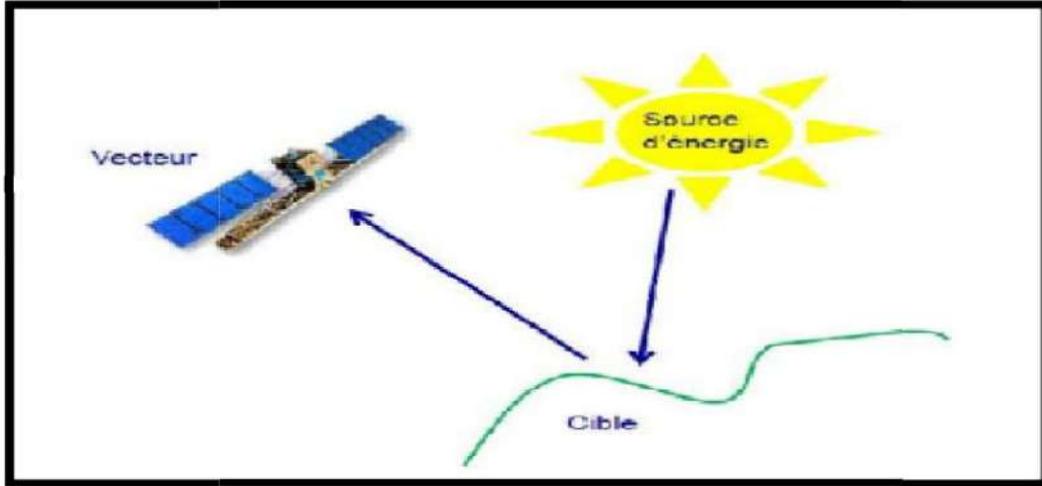
II-2- الاستشعار عن بعد :

الاستشعار عن بعد هو مجموعة من التقنيات التي تسمح بالحصول على معلومات عن سطح الأرض، الغلاف الجوي والمحيطات، من خلال تحليل معطيات يتم اكتسابها بجهاز استشعار لا يلمس ذلك الجسم أو الظاهرة المدروسة. حيث يتألف من التقاط وتسجيل طاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث أو المنعكس لمعالجة وتحليل المعلومات التي تمثلها ثم تطبيق هذه المعلومات. [29]

II-2-1- المبدأ الأساسي للاستشعار عن بعد :

المبدأ الأساسي للاستشعار عن بعد مشابه لمبدأ الرؤية البشرية، تعتبر عيننا مثلاً ممتازاً لجهاز الاستشعار عن بعد إذ أننا قادرون على تقدير كمية وطبيعة طاقة الضوء المرئي المنعكس الذي يصل إلينا في مجالنا البصري واستنتاج معلومات حول بيئتنا، يتم إنتاج هذه الطاقة من مصدر خارجي وعادة ما تكون الشمس. [30]

الاستشعار عن بعد هو نتيجة التفاعل بين ثلاث عناصر أساسية: مصدر الطاقة، الهدف والمستشعر (قمر صناعي، رادار، طائرة) الشكل (II-1). [31]



الشكل (1-II): المبدأ الأساسي للاستشعار عن بعد. [29]

II-2-1-1-1- الهدف (La cible) :

هو جزء سطح الأرض الذي تم رصده بواسطة الأقمار الصناعية، يمكن أن يختلف حجمها من بضع عشرات إلى عدة آلاف الكيلومترات المربعة.

II-2-1-2- مصدر الطاقة (La source d'énergie) :

الطاقة هو العنصر الذي يضيء الهدف بإصدار موجة كهرومغناطيسية (تدفق الفوتون). في حالة الرادار يكون المستشعر هو مصدر الطاقة. ومع ذلك، تتطلب تقنية RADAR أن يكون المستشعر على متن القمر الصناعي، إذن في هذه الحالة يكون القمر الصناعي نفسه مصدر الطاقة.

II-2-1-3- أرضية الاستشعار (la plate-forme) :

تقيس الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس من الهدف، يمكن أن يكون المتجه (النظام الأساسي) عبارة عن قمر صناعي أو طائرة على ارتفاع يتراوح بضع عشرات إلى بضعة آلاف من الكيلومترات (36000 كيلومتر لقمر صناعي ثابت بالنسبة للأرض). تقوم المستشعرات الموجودة على متن القمر الصناعي بقياس الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس، عندما يلتقط القمر الصناعي الإشعاع المنعكس فقط، فإننا نتحدث عن الاستشعار عن بعد الغير نشط وعندما يرسل القمر الصناعي موجة نحو الهدف نتحدث عن الاستشعار عن بعد النشط.

II-2-2- عملية الاستشعار عن بعد:

يمكن تخطيط الاستشعار عن بعد كعملية من سبع خطوات رئيسية:

II-2-2-1- مصدر الطاقة أو الإضاءة (Source d'énergie ou d'illumination):

في أصل أي عملية استشعار عن بعد هو بالضرورة مصدر طاقة لإضاءة الهدف، في معظم الأحيان، يمكن أن يكون القمر الصناعي نفسه مصدرا للطاقة. هذا هو الحال بالنسبة لمجال الاستشعار عن بعد بالرادار.

II-2-2-2-Interaction rayonnement et (الجوي والغلاف الجوي) (atmosphère):

أثناء رحلته "الخارجية" بين مصدر لطاقة والهدف، يحدث تفاعل الإشعاع مع الغلاف الجوي، يحدث كذلك تفاعل آخر أثناء طريق "العودة" بين الهدف والمستشعر.

II-2-2-3-التفاعل مع الهدف (Interaction avec la cible):

بمجرد وصوله إلى الهدف تتفاعل الطاقة مع سطحه، تعتمد طبيعة هذا التفاعل على خصائص الإشعاع وخصائص السطح. يصدر كل جسم جغرافي أو يعكس إشعاع في ترددات مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي. تسمى هذه الخاصية السلوك الطيفي. في الاستشعار عن بعد، يفترض أن أي جسم أو فئة من الأشياء على سطح الأرض لها "بصمة رقمية" في الطيف الكهرومغناطيسي (التوقيع الطيفي)، اعتماداً على الطول الموجي للإشعاع المنعكس أو المنبعث من تلقاء نفسه.

II-2-2-4-تسجيل الطاقة بواسطة المستشعر (Enregistrement de l'énergie par le (capteur):

بمجرد أن يتم توزيع الطاقة أو انبعاثها بواسطة الهدف، يجب استشعارها عن بعد بواسطة مستشعر لا يتلامس مع الهدف، ولكن يكون محمول على متن القمر الصناعي أو الطائرة على سبيل المثال، ليتم تسجيلها في النهاية بشكل رقمي.

II-2-2-5-الإرسال، الاستقبال والمعالجة (Transmission, réception et (traitement):

يتم إرسال الإشارة المسجلة بواسطة المستشعر، غالباً بواسطة الوسائل الالكترونية، إلى محطة استقبال تقع عموماً على الأرض حيث يتم تحويل المعلومات إلى صور (رقمية أو فوتوغرافية).

II-2-2-6-التفسير والتحليل (Interprétation et analyse):

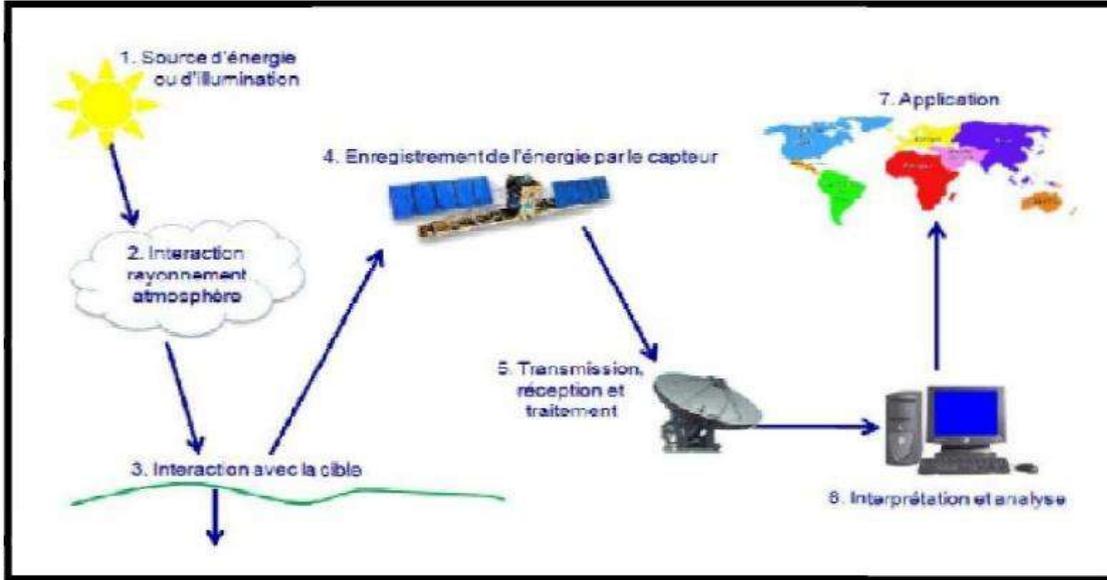
يعد التفسير المرئي أو الرقمي للصورة المعالجة ضرورياً لاستخراج المعلومات التي نريد الحصول عليها على الهدف.

II-2-2-7-التطبيقات (Applications):

تتمثل المرحلة الأخيرة من العملية في استخدام المعلومات المستخرجة من الصورة لفهم الهدف بشكل أفضل، أي جزء المساحة المدروسة (مدينة، منطقة معينة، غابة... الخ). ليجعلنا نكتشف

جوانب جديدة منه أو المساعدة في حل مشكلة معينة. [32]

تغطي هذه الخطوات السبع عملية الاستشعار عن بعد، يمثلها الشكل التالي (II-2) من البداية إلى النهاية.



الشكل (2-II) : عمليات الاستشعار عن بعد. [29]

3-2-II-3- تطبيقات الاستشعار عن بعد:

3-2-II-1- الزراعة :

تلعب الزراعة دوراً حيوياً في اقتصاد البلدان المتقدمة والنامية يمكن أن تمثل صناعة مربحة لدولة قوية اقتصادياً أو إنتاجاً أولياً لمعيشة بلد ما، يحتاج جميع المنتجين الزراعيين إلى معلومات لإدارة محاصيلهم بشكل فعال يجب أن يكون لديه أدوات المعلومات التي تسمح له بالتخطيط لعملياته والتعامل مع المخاطر التي قد تهدد إنتاجه مثل العدوى الحشرية وسوء الأحوال الجوية والجفاف والأضرار المتعلقة بضغط النباتات والتي تؤثر على إمكانات محصوله وظروف أرضه، يتم استخدام الصور الجوية والأقمار الصناعية لتصنيف المحاصيل لضمان صحة وسلامة الإنتاج ورصد تدابير التدخل. ومن بين تطبيقات الاستشعار عن بعد في الزراعة نذكر:

- تحديد وتوقع كمية المحاصيل الزراعية
- رسم الخرائط لتحديد المناطق الزراعية
- اكتشاف الآفات الزراعية، وأمراض النباتات والأشجار
- المساعدة في وضع سياسة محددة للحفاظ على المناطق الزراعية والتلوث من خلال المراقبة المستمرة
- مكافحة التصحر
- مكافحة حرائق الغابات

II-2-3-2- الجيولوجيا :

الجيولوجيا هي دراسة شكل الأرض وهيكلها، وتهدف إلى فهم العمليات الفيزيائية التي تعدل قشرة الأرض، يُنظر إليها عموماً على أنها استكشاف واستغلال الموارد المعدنية والبتروولية بهدف تحسين الظروف المعيشية للمجتمع.مثل:

- رسم الخرائط الجيولوجية
- تحديد موقع البراكين، وتحديد حركات الأرض والتربة
- التنقيب على المعادن
- البحث عن الموارد الطبيعية والموارد الأولية
- استكشاف واستغلال الركام (الرمل والحصى)

II-3-3-2- الهيدرولوجيا :

الهيدرولوجيا هي دراسة المياه على الأرض، سواء كانت تتدفق على السطح، أو متجمدة كجليد أو ثلج، أو محاصرة في الأرض. ترتبط الهيدرولوجيا بشكل طبيعي بالعديد من تطبيقات الاستشعار عن بعد، وخاصة الحراجة والزراعة واستخدام الأراضي، لأن المياه عنصر مهم في كل مجال من هذه المجالات، فيما يلي بعض تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال الهيدرولوجيا:

- تقييم رطوبة التربة
- رصد ورسم الخرائط لمدى سطح الجليد
- رسم خرائط الفيضانات والمجاري المائية ومراقبتها
- الكشف عن التغيرات في الأنهار والدلتا
- كشف تسربات قنوات الري

II-4-3-2- الأرصاد الجوية والمناخ :

تتعدد تطبيقات الاستشعار عن بعد في مجال الأرصاد الجوية، ويمكن أن نذكر:

- مراقبة حركة وتطور السحب(التصنيف ودرجة الحرارة وارتفاع القمة، والكشف عن الخلايا الحملية، ومحتوى الماء السائل، الطابع المترسب،.....)
- مراقبة المناخ(أرشفة البيانات على المدى الطويل واستغلالها، التوازن الإشعاعي، إحصاءات عن السحب وهطول الأمطار، التحقق من صحة نماذج المناخ،.....)
- مراقبة سطح الأرض(درجة حرارة الأرض، الثلج، الجليد البحري، قوة واتجاه الرياح،....). [29]
- دراسة تلوث الغلاف الجوي(تركيز غازات معينة (CO_2 ، O_3 ، ...))
- المساعدة في التنبؤ بالطقس الذي هو أكثر دقة

- استيعاب البيانات في نماذج التنبؤ العددي بالطقس.

II-2-4- تقنيات الاستشعار عن بعد :

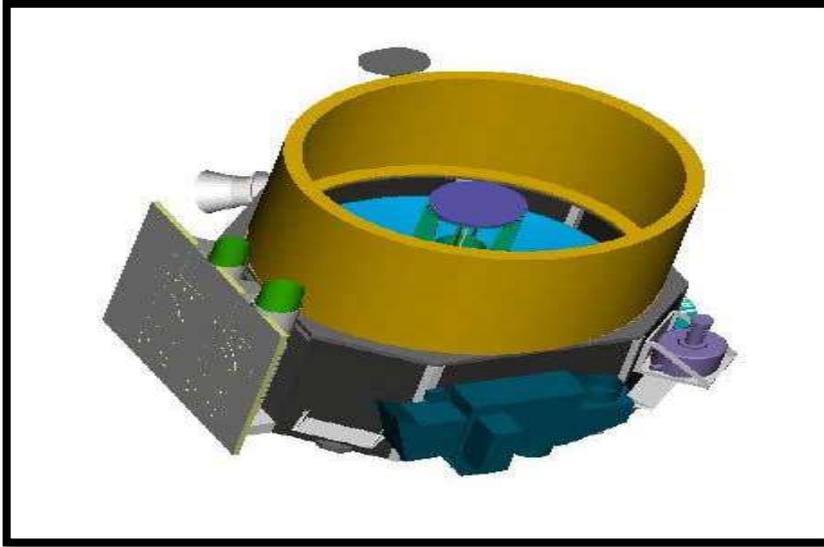
II-2-4-1- الليدار LIDAR :

ينتج الليدار ملفات تعريف و يوفر وصولاً محلياً إلى الهيكل الرأسي للغلاف الجوي. يعتمد مبدأ الجهاز على حزمة الليزر التي تستكشف الغلاف الجوي في الأشعة تحت الحمراء المرئية و/ أو القريبة من الأشعة تحت الحمراء على الفور، دون أن تتأثر بالبيئة.

تتفاعل الإشارة المنبعثة من الليدار مع مختلف مكونات الغلاف الجوي الموجودة، ثم يقوم تلسكوب بتسجيل الإشارة المتناثرة يمكن بعد ذلك استنتاج خصائص المكونات عن طريق استغلال العمليات الفيزيائية المختلفة المسؤولة عن التشتت الخلفي للإشارة. هناك أنواع مختلفة من الليدار يمكن قياسها إما على أساس التشتت الخلفي المرن، والبعض الآخر على الامتصاص التفاضلي، أو حتى تأثير دوبلر (يستخدم الليدار لقياس المظهر الرأسي لسرعة الرياح واكتشاف القصر) أو استقطاب رامان. [29]

يعتمد التشتت الخلفي لشعاع الليزر على تركيز الجسيمات و قوتها العاكسة (Flamant et al.) (2007) وهناك:

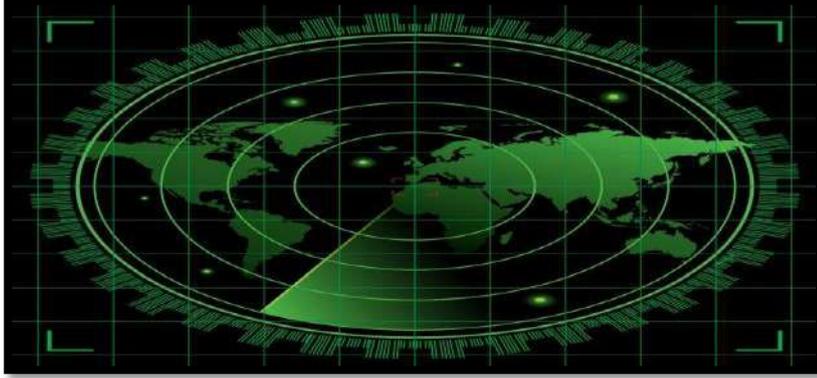
- ✓ ليدار أرضي (مثل ليدار Cime1).
- ✓ ليدار كاليوب الفضائي CALIOP، مضمن في CALIPSO في سلسلة الأقمار الصناعية (A- train) الشكل (3-II).



الشكل (3-II) : حمولة CALIPSO [33]

II-2-4-2-الرادار (RADAR) Radio Detection And Ranging :

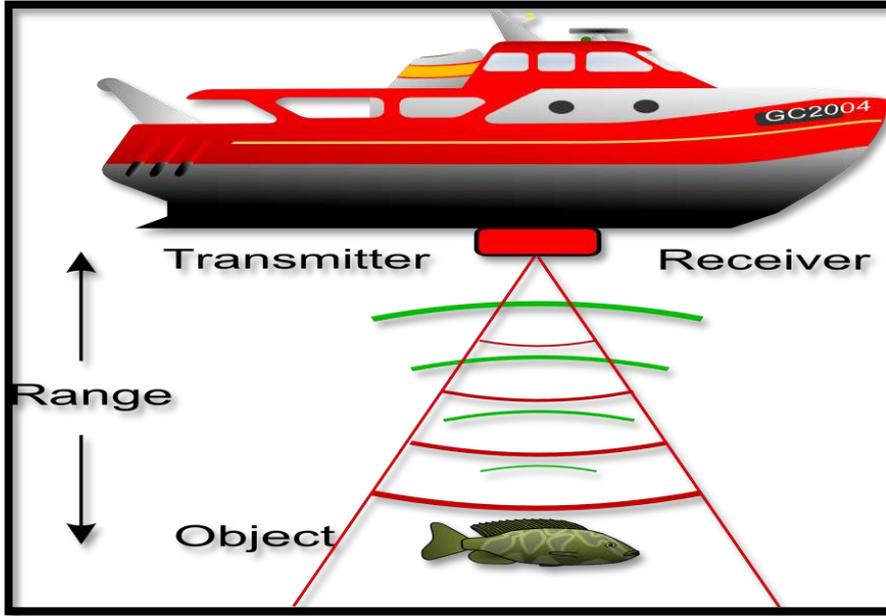
الرّادار هو نظام إلكتروني يُستخدم موجات كهرومغناطيسية للتعرف على بعد وارتفاع واتجاه وسرعة الأجسام الثابتة والمتحركة لكشف أهداف مُتحرّكة أو ثابتة وتحديد مواقعها كالطائرات، والسفن، والعربات، وتشكيل الطقس، والتضاريس الشكل (II-4). [34]. يستخدم فيه أمواج الراديو للاستشعار. [35]



الشكل (II-4): الرادار. [34]

II-3-4-2-السونار (SONAR) Sound Navigation And Ranging :

يمكن ضبط نظام السونار على نطاق واسع كجهاز يصدر أصواتاً في الماء ؛ هذه تعود إلينا تحت أصداء تخبرنا عن الأشياء الموجودة تحت السطح. لا الموجات الصوتية التي تنتجها أجهزة قياس العمق والسونار المستخدمة في الكشف عن الأسماك وتقدير كتلتها الحيوية هي من نفس طبيعة تلك التي تنتجها أدوات الموسيقى والمركبات المتحركة الشكل (II-5)، وأجهزة الكلام ، الخ. ومع ذلك فإن نطاق إدراك الأصوات بواسطة الأذن البشرية محدود لأنه محدود تقريباً بترددات تتراوح بين 16 و 20000 هرتز. تستخدم أنظمة السونار للكشف عن الأسماك التي تصدر الموجات فوق الصوتية ، أي الأصوات التي يتراوح ترددها بشكل عام بين 20000 و 500000 هرتز (20 إلى 500 كيلو هرتز) التي لا تستطيع الأذن البشرية إدراكها، يستخدم فيه الأمواج الصوتية. [35], [36]



الشكل (5-II) : SONAR [37]

II-2-4-4-2- السودان (SODAR) :

إن أنظمة السودار في الواقع ليست أكثر من أنظمة السونار التي يتم استخدامها في الهواء وليس في الماء بشكل أكثر تحديداً، وتستخدم لقياس تشتت الموجات الصوتية بواسطة الاضطرابات الجوية الشكل (6-II)، أو بعبارة أدق تستخدم أنظمة SODAR لقياس سرعة الرياح على ارتفاعات مختلفة. [38]



الشكل (6-II) : SODAR: قياس الرياح (السرعة، الاتجاه،...). [38]

II-3- وسائل ملاحظة الهباء الجوي :

هناك تقنيات مراقبة مختلفة لفحص وتقييم حالة وتكوين الغلاف الجوي، على الرغم من الشكوك المرتبطة بالأجهزة وتقنيات القياس، فإن المعلومات التي توفرها لها أهمية كبيرة لأنها تحتوي على تفسير واقع الغلاف الجوي. يتم تضمين أجهزة القياس في أنواع مختلفة من الوسائط وهي: المحطات الأرضية، والمحمولة جواً، ومنصات الأقمار الصناعية. لكل وسط مزاياه وعيوبه عندما يتعلق الأمر بأخذ العينات الزمانية والمكانية.

II-3-1- الملاحظة من الأرض:**II-3-1-1- شبكة AERONET/PHOTONS :**

يتم قياس التوهين من الإشعاع الشمسي بواسطة الهباء الجوي عن طريق مقياس الضوء photomètre (وهو راديو متر، أنظر الشكل، حيث يقيس السمك الضوئي و تراكيز الغازات العالقة في الهواء الشكل (II-7)).



الشكل (II-7): جهاز (SUN-PHOTOMÈTRE) المستخدم في شبكة AERONET. [1]

بالإضافة إلى ذلك توجد شبكة AERONET وهو اتحاد من شبكات الهباء الجوي للاستشعار عن بعد من الأرض التي أنشأتها وكالة NASA و LOA-PHOTONS (CNRS). حيث توفر الشبكة قاعدة بيانات طويلة المدى ومستمرة ويسهل الوصول إليها حيث تكون عامة للخصائص البصرية الشكل (II-8) ، الفيزيائية الدقيقة والإشعاعية للهباء الجوي من أجل البحث ووصف الهباء الجوي والتحقق من منتجات الهباء الجوي الساتلي والاتحاد مع قواعد البيانات الأخرى. تتطلب الشبكة توحيد الأجهزة، والمعالجة والتوزيع. [29]



الشكل (8-II) : شبكة AERONET فوق غرب إفريقيا. الدوائر الحمراء تمثل المواقع تم استخدامها في الملاحظة والقياس (تمنراست، بانيزومبو، سوروا، دجوغو، مبور والرأس الأخضر) أما النقاط الحمراء تمثل المواقع الغير مستخدمة.

: R&P TEOM 1400 A-2-1-3-II

هناك جهاز آخر، تم نشره كجزء من مشروع AMMA، يقيس تركيز المواد العالقة في الهواء، يتعلق بمحلل كتلة الغبار R&P TEOM 1400A (Rupperecht & Pataschnick,) (الشكل: 9-II)، حيث يعتمد هذا الجهاز على وزن الجسيمات التي تم أخذ عينات منها باستخدام ميزان صغير يتكون من عنصر مخروطي متذبذب.

يسمح هذا الجهاز بقياس تراكيز جزيئات الغبار العالق في الهواء التي يقل قطرها على 10 ميكرومتر (PM 10). في إطار هذه الدراسة، تم استخدام هذا الجهاز المنتشر في المواقع Mbour و Banizoumbou.



الشكل (9-II) : جهاز TEOM 1400 A [39].

وهناك وسائل أخرى لملاحظة الهباء الصحراوي على الأرض مثل الرؤية الأفقية.

II-3-1-3- الرؤية الأفقية :

إن مفهوم الرؤية الأفقية (Visibilité Horizontale) يعبر عن مدى إمكانية الإنسان من رؤية الظواهر الطبيعية والبشرية على مستوى أفقي في منطقة ما على مستوى سطح الأرض. ويذكر موسى (1986) في تعريفه للرؤية الأفقية أنها تعبر عن درجة شفافية الهواء الجوي بالنسبة لبصر الإنسان وهي الشفافية التي تحدد المسافة القصوى التي يمكن للإنسان إن يرى ويميز الأجسام بوضوح الشكل (II-10)، فكلما كان الهواء أكثر شفافية (أكثر نقاء من الشوائب) كانت الرؤية أكبر، ويعرف مدى الرؤية في الأرصاد الجوية أنها أكبر مسافة يمكن عندها رؤية وتمييز جسم أسود ذو أبعاد مناسبة وذلك بالنسبة لأفق السماء كخلفية للجسم ويجب أن يصنع الجسم زاوية عند عين الراصد قدرها نصف درجة على الأقل أفقياً ورأسياً في نفس الوقت، ويجب ألا يكون الجسم كبيراً في الاتجاه الأفقي إلى حد أنه يصنع زاوية أكبر من 5 درجات، يعرف مدى الرؤية الأفقية بأنه أقصى مدى يمكن لراصد عادي عند النظر أن يراه في الظروف العادية وبالعين المجردة، حيث تقاس الرؤية الأفقية بواسطة المقياس Visibilimeter [40].

توجد عدة عوامل تؤثر على مدى الرؤية الأفقية من بينها: هطول الأمطار، رذاذ البحر، الضباب، العواصف الرملية والترابية، الدخان، أملاح البحر، هبوب الرياح الشديدة التي تسبب تطاير الرذاذ من ماء البحر.....الخ. [41]

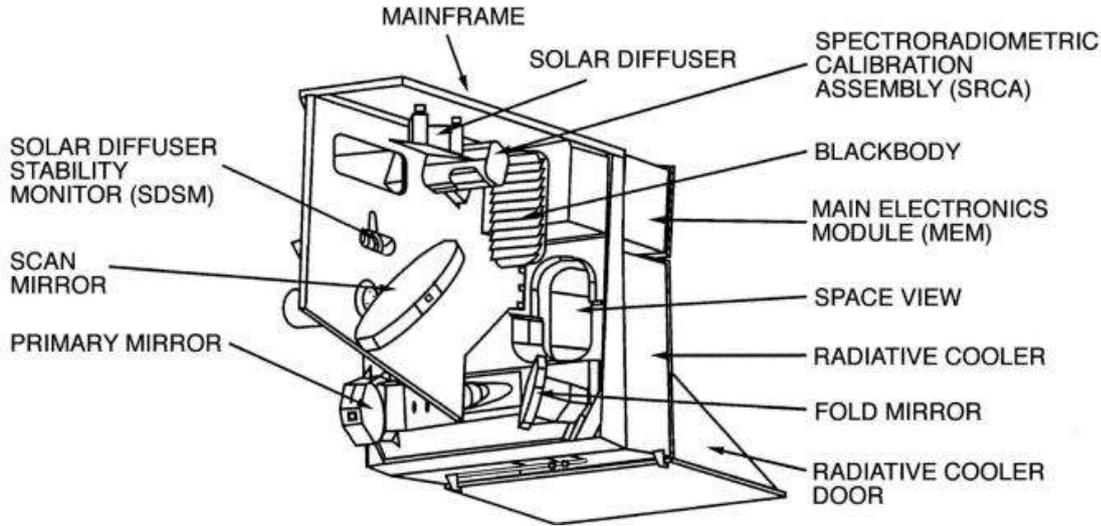


الشكل (II-10) : مقياس الرؤية DF320 لشركة Degreane-Horizons [42]

II-3-2-الملاحظة من الفضاء :

Moderate Resolution Imaging) MODIS 1-2-3-II
:(Spectroradiometer

تم تزويد جهاز MODIS (مقياس طيف التصوير ذي الدقة المتوسطة) في عام 1999 على متن قمرين صناعيين تيرا و أكوا (أول قمر صناعي لقطار أكوا)، يعمل في عدة أطوال موجية والتي تتراوح من المرئي إلى الحراري (36 نطاقا طيفيا) يمر بالقرب من الأشعة تحت الحمراء. البعد المكاني 1 كم، تدور الأقمار الصناعية تيرا و أكوا من الشمال إلى الجنوب حول الأرض، مروراً بخط الاستواء في الصباح وبعد الظهر على التوالي، مما يسمح بالتغطية الكاملة للكرة الأرضية فوق المحيطات، يمكن ل MODIS ملاحظة السمك الضوئي للهباء في وضعين (صغير/ كبير) الذي يميز الهباء الجوي الصغير عن الأكبر الشكل (II-11). عبر المحيطات تستخدم قنوات مختلفة والتي تكتشف السمك الضوئي هذه المرة في وضع واحد، و السماح بالوصول إلى نسبة حجم الهباء الجوي (صغير على كبير). [43]

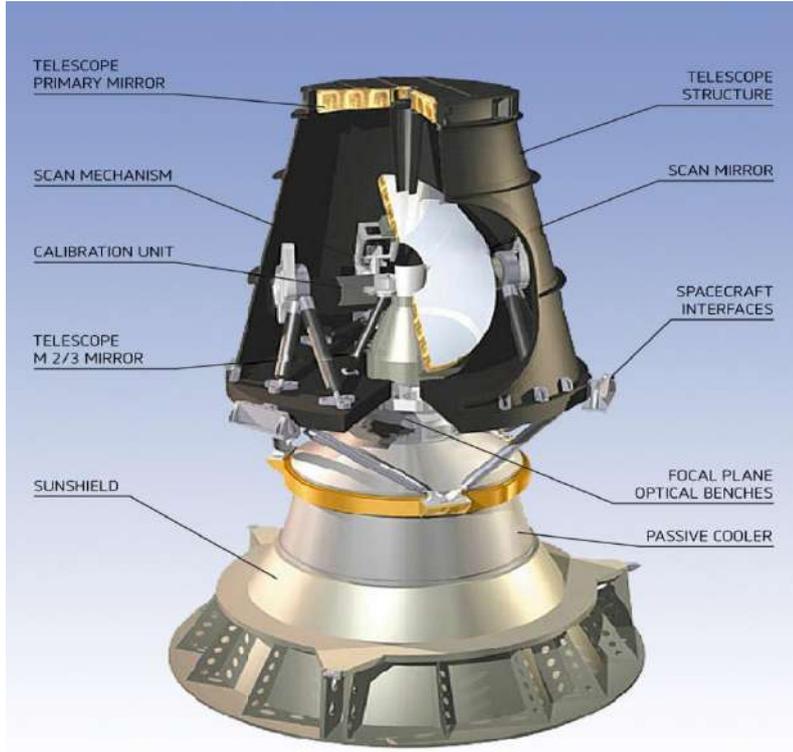


الشكل (II-11) : مكونات جهاز MODIS [44]

II-3-2-2-جهاز SEVIRI :

SEVIRI (التصوير المرئي المعزز بالأشعة تحت الحمراء والدوران). هو جهاز جديد متاحة منذ أغسطس 2002، يتواجد SEVIRI على متن القمر الصناعي الثابت بالنسبة للأرض من الجيل الثاني (MSG 1 et 2) الشكل (II-12). وتوجد به 12 قناة مقسمة بين الأطوال الموجية المرئية والأشعة تحت الحمراء. يوفر بعد مكاني 1 كيلو متر وتردد زمني لصورة واحدة كل 15 دقيقة. يتم استخدام درجات حرارة السطوح من قنوات SEVIRI 8.7 و 10.8 و 12 ميكرومتر فبإضافة درجات حرارة السطوح لمقياس إشعاع التصوير بالأشعة تحت الحمراء (IIR) من أجل الحصول على وصف للهباء الصحراوي بالأشعة تحت الحمراء باستخدام الاختلافات في درجة حرارة السطوح بين القنوات المختلفة. تم الكشف عن الهباء

الصحراوي بواسطة MSG-SEVIRI ليلاً ونهاراً. توفر هذه الملاحظات ميزة جيدة للتغطية المكانية على إفريقيا ودقة زمنية جيدة للغاية. [1], [43]

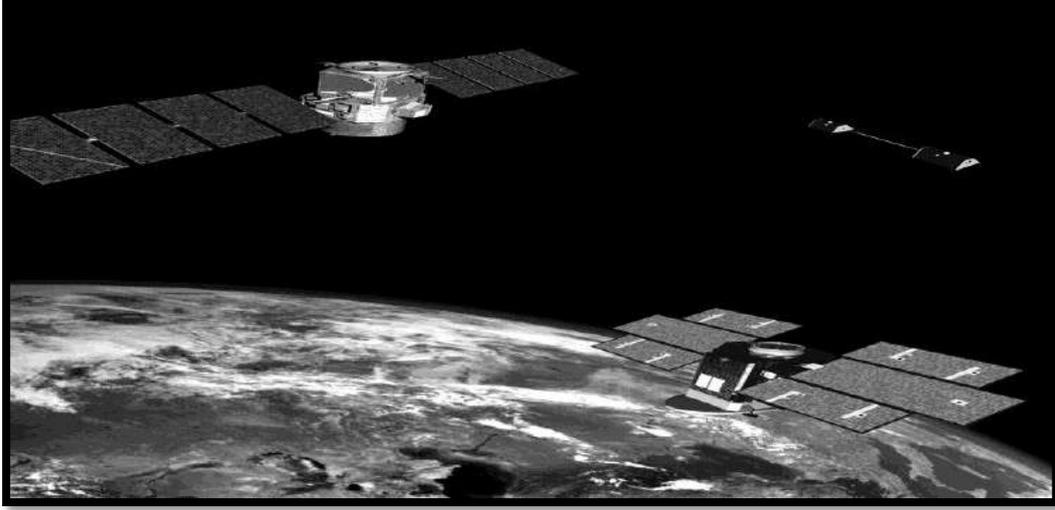


الشكل (12-II) : مكونات جهاز SEVIRI [45]

: CALIPSO-3-2-3-II

اليوم لدينا منتجات أقمار صناعية جديدة ، مما يتيح الوصول إلى التوزيع الرأسي للهباء الجوي من الفضاء. هذا هو منتج ليدار كاليبوب (ليدار الهباء الجوي السحابي مع الاستقطاب المتعامد) على متن القمر الصناعي CALIPSO، تم تصميم CALIOP للحصول على مقاطع جانبية عمودية ، بدقة 30 م ، للمكونين المتعامدين اللذان ينتجان عن إزالة الاستقطاب لإشارة ليزر مبعثرة عند 532 نانومتر وملفات عمودية لإجمالي إشارة ليزر عند 1064 نانومتر مبعثرة في الحضيض. كل قراءة للليدار تجعل من الممكن الحصول على ملف تعريف بعرض 90 مترًا من خلال جمع الصور الملتقطة خلال المدار نحصل على "شريحة" من الغلاف الجوي. تغطي ملفات CALIOP عند 532 نانومتر طبقة الغلاف الجوي الواقعة بين ارتفاع 2 كم و 40 كم ، وتغطي تلك الموجودة عند 1064 نانومتر تغطية شريحة الغلاف الجوي الواقعة بين 2 كم و 30 كم. تختلف الدقة الرأسية باختلاف الارتفاع. وهكذا بالنسبة للطبقات السفلى من الغلاف الجوي (0.5 إلى 8.2 كم) ، بشكل عام أين يوجد الهباء الجوي والسحب ولديها تباين مكاني أكبر ، الدقة الرأسية 30 م والدقة الأفقية 0.33 كم. بين 8.2 كلم و20.2كم، تزيد الدقة إلى 60 مترًا رأسياً و 1 كيلومتر أفقياً. وللاارتفاعات بين 20.2 كم و 30.1 كم ، وتبلغ الدقة 180 مترًا رأسياً و 1.66 كيلومترًا أفقياً. بعد 30.1 كم ، يتم تقليل الدقة في الوضع الرأسي إلى 300 متر وفي الأفقي عند 5 كيلومترات.

بالإضافة إلى CALIOP الشكل (II-13)، تقوم CALIPSO بتضمين أداتين:
 - مقياس إشعاع للتصوير IIR ثلاثي القنوات في الأشعة تحت الحمراء الحرارية عند 8.65 ميكرومتر، 10.6 ميكرومتر و 12.05 ميكرومتر. يوفر مقياس الإشعاع هذا سياق قياس الليدار في الليل. يسمح باستعادة ملفات الخصائص الفيزيائية الدقيقة للسحب.
 - مصور أحادي القناة WFC (Wide Field of View Camera) (كاميرا ذات مجال رؤية واسع) بقدرة 645 نانومتر تهدف إلى توفير سياق قياس الليدار في اليوم. [1], [43]



الشكل (II-13) : CALIPSO [46]

II-3-2-4- المنتج TOMS :

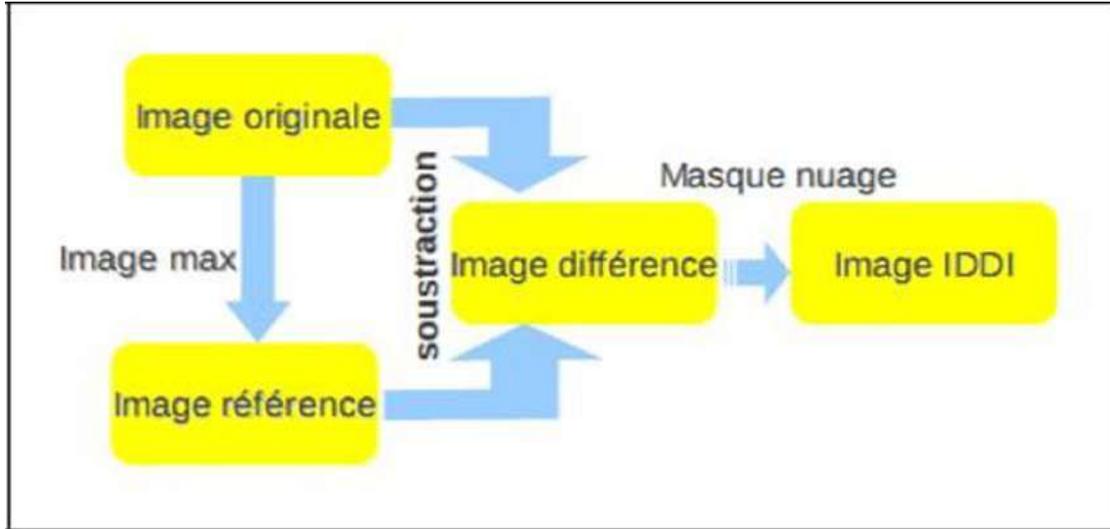
تم أيضًا استخدام المنتجين الرئيسيين اللذين تم إنشاؤهما من بيانات TOMS (Totale Ozone Mapping Spectrometre) (مطياف رسم خرائط الأوزون الكلي) ، على متن القمر الصناعي NASA Nimbus-7 (نوفمبر 1978- أبريل 1993) ثم على مسبار الأرض (أوت 1996 حتى يومنا هذا) للأشعة فوق البنفسجية و IRT لـ Meteosat (الأشعة تحت الحمراء الحرارية). هذين المنتجين للمؤشرات شبه الكمية ، على التوالي: مؤشر الهباء الجوي AAI (مؤشر امتصاص الهباء الجوي) ومؤشر الغبار IDDI (مؤشر غبار فرق الأشعة تحت الحمراء) (Legrand et al., 2001). تم تطوير هذين المؤشرين لدراسة الهباء الصحراوي فوق القارات. تمكنت قياسات الأشعة فوق البنفسجية التي أجرتها TOMS من دراسة التأثيرات الإشعاعية المنبعثة من الهباء الصحراوي (Hsu et al., 2000) وتوصيف المصادر الرئيسية للانبعثات (Prospero et al., 2002). كما أن الفترة الطويلة (1979-2000) التي تغطيها بيانات TOMS جعلت من الممكن أيضا إظهار السيطرة التي يمارسها الجفاف في منطقة الساحل على كثافة صادرات الغبار من أفريقيا (Moline and Chiapello) وتسليط الضوء على تكثيف انبعاثات الغبار في بعض مناطق الساحل الخاضعة للتصحّر الشديد الناجم عن الأنشطة البشرية (Moulin and Chiapello 2006). [1]

II-3-2-5- مؤشر الهباء (Infrared Difference Dust Index) IDDI:

تم تطوير مؤشر للكشف عن الغبار على سطح الأرض يدعى مؤشر IDDI، باستعمال قناة (METEOSAT IRT)، حيث ينتج عن تأثير الإشعاع للغبار في النافذة [10.5 - 12.5] ميكرون من قناة (METEOSAT IRT). يمكننا الحصول عليها باختلاف لمعان الأشعة تحت الحمراء IR بين درجة حرارة السطوح القسوى (الإضاءة) الملاحظة على مدة 15 يوم على الساعة 12:00 ظهرا (صورة مرجعية)، ودرجة حرارة السطوح (الإضاءة) في نفس اليوم والوقت (صورة يومية).

تتكون الصورة المرجعية من وحدات لمعان واضحة (بدون سحب) ونظيفة (بدون غبار)، بحيث أن السحاب والغبار هما المتغيرات الجوية فقط اللذان بدورهما يؤثران على إضاءة و سطوح الغلاف الجوي.

يتم دمج لوغاريتم كشف وإخفاء السحب في اللوغاريتم IDDI. [47].
يوضح الشكل (II-14) مخطط عمل مؤشر الغبار.

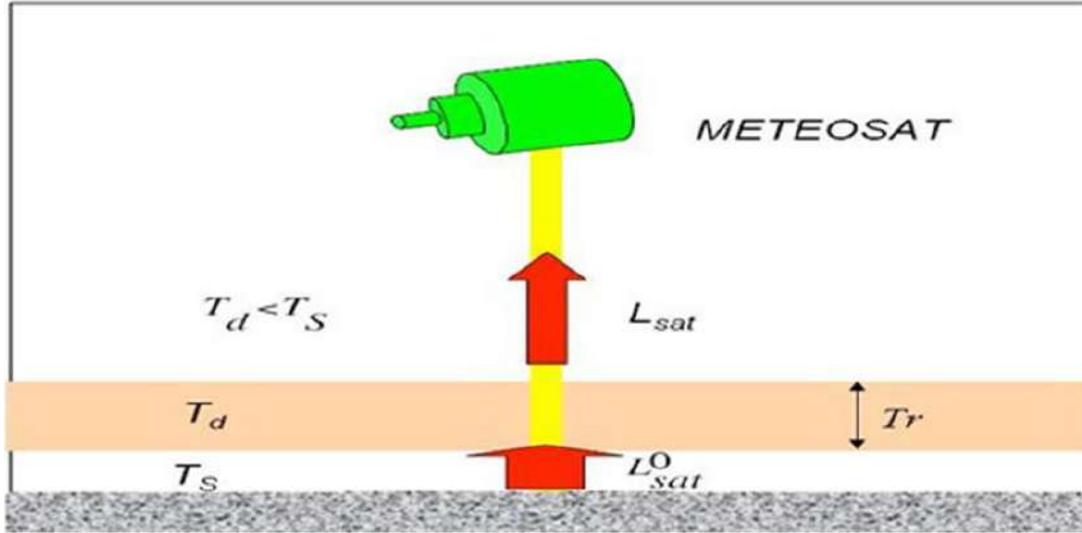


الشكل (II-14) : المخطط الانسيابي لمؤشر الغبار IDDI. [32]

المبدأ الفيزيائي:

يعتمد الاستشعار عن بعد في نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية فوق القارة على دراسة التباين الحراري (Goudie B., et al : 2001). خلال النهار، يقوم سطح الأرض بامتصاص الإشعاع الشمسي بحيث يكون أكثر دفئا من الغلاف الجوي المتراكم، إما كان الجو به تراب أو غبار فبالإمكان اكتشافه لأنه أكثر برودة من السطح. إشعاع المصدر الرئيسي في IRT هو إشعاع السطح الساخن الذي بدوره ينبعث من الإشعاع إلى الفضاء، يحدث تغير في إضاءة الأشعة تحت الحمراء المنبعثة إلى الفضاء الشكل (II-15).

في اليوم تكون درجة حرارة الغبار (T_d) أكثر برودة من درجة حرارة السطح (T_s) حيث ($T_s > T_d$)، أما بخصوص الإضاءة المنبعثة إلى الفضاء فتكون أقل من الإضاءة المنبعثة من السطح ($L_{sat}^0 > L_{sat}$).



الشكل (15-II): المبدأ الفيزيائي للكشف عن الغبار في IRT. [32]

إذا قمنا بالافتراضات التالية:

- ف1: الغلاف الجوي يحتوي على غازات ممتصة (بخار الماء...).
- ف2: نفرض أن الجسم الأسود ($\epsilon_s = 1$)، درجة حرارة السطح T_s .
- ف3: يكون الغبار غير منتشر ومنتشر ومنتساوي في درجة الحرارة T_d مع نفاذية T_r في IRT.
- ف4: نهمل تأثير الغبار على درجة حرارة السطح (الاحتباس الحراري و الغازات الدفيئة). يكون لمعان السطح (الأسود الذي افترضناه) المنبعث نحو الفضاء في جو صاف خالي من السحاب على حالتين:

✓ في غياب الغبار:

$$L_{sat}^0 = B(T_s)$$

✓ في وجود الغبار:

$$L_{sat} = T_r \cdot B(T_s) + (1 - T_r) \cdot B(T_d)$$

يعطى التأثير الإشعاعي لطبقة الغبار في الأشعة تحت الحمراء الحرارية أو التباين الحراري، بالعلاقة التالية:

$$\Delta L_{sat} = L_{sat} - L_{sat}^0 = (1 - T_r) \cdot [B(T_d) - B(T_s)]$$

حيث يعبر عن النفاذية ب:

$$T_r = \exp(-\delta_d)$$

عندما تكون $(T_r = 0)$ نصل للحد الأقصى للتأثير (طبقة الغبار شديدة الكثافة) وتعطى معادلة التباين الحراري بالمعادلة التالية:

$$\Delta L_{\text{sat}}^{\text{max}} = B(T_d) - B(T_s)$$

II-3-2-6- مؤشر الهباء AAI (Absorbing Aerosol Index) :

مؤشر الهباء الجوي AI هو مقياس يقيس كمية العوالق الترابية والغبارية الموجودة في الغلاف الجوي. ويعتمد هذا المؤشر على الصور الرقمية المأخوذة من الأقمار الصناعية لمؤشر الغبار (TOMAS/NIMBUS) في مجال الأشعة فوق البنفسجية، والتي لها قدرة هائلة في رصد العوالق الترابية والغبارية في الجو.

❖ توضيح:

لحساب مؤشر الغبار نستعمل الأشعة فوق البنفسجية المسترجعة المقاسة في الأمواج الطويلة 340 و 380 نانو متر حيث درجة امتصاص الغازات تكون ضعيفة (H_2O, O_3, \dots) كالتالي:

$$AI = -100 \log_{10} \left[\left(I_{340}/I_{380} \right)_{MEAS} - \left(I_{340}/I_{380} \right)_{CAL} \right]$$

I_{MEAS} : الشعاع المسترجع على طول الموجة المقاسة.

I_{CAL} : الشعاع المسترجع على طول الموجة المحسوبة.

وذلك باستخدام النموذج الجوي (Modèle d'air). [39]

الفصل الثالث :

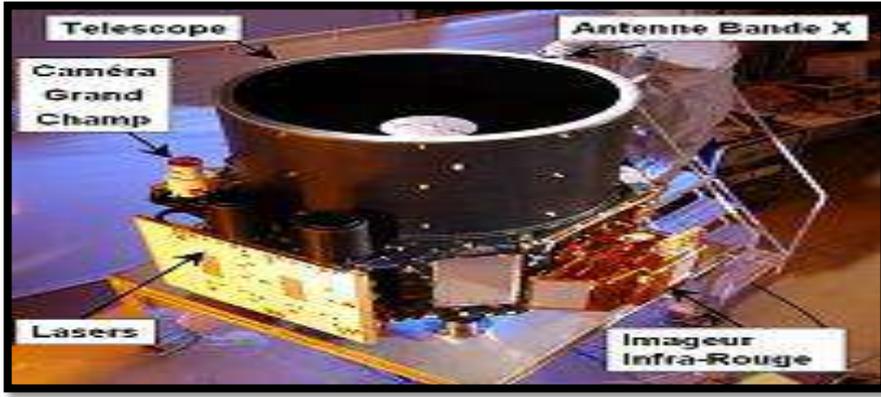
ليدار الغلاف الجوي

III-1- مقدمة :

إن تقنية الليدار أو اللادار هو تحديد المدى عن طريق الضوء أو الليزر, وهي تكنولوجيا استشعار عن بعد مرئية باستخدام نبضات من الضوء, عادة ما تكون اشعة ليزر ويتم عن طريقها حساب المسافات أو خصائص الأهداف المرصودة. سنتطرق في هذا الفصل إلى تقنية الليدار ومعرفة خصائصها الفيزيائية والبصرية ومزاياها وعيوبها وأنواعها.

III-2- تقنية الليدار Lidar:

تم تطوير العديد من تقنيات الاستشعار عن بعد لتسهيل معرفة مركبات الغلاف الجوي. حيث تعتبر تقنية الليزر الجوي المحمول أحدث تقنية مستخدمة في هذا المجال كما هو موضح في الشكل (III-1) وقد حققت انتشارا واسعا, وتعمل هذه التقنية على مسح الغلاف الجوي, ويوجد أيضا ليدار أرضي. [48]



الشكل (III-1) : جهاز ليدار CALIOP.

III-3- تعريف الليدار Lidar:

الليدار LIDAR أو ما يسمى أحيانا LADAR أو Altimetry Laser وهو اختصار لـ Detection Light And Ranging فهو مستشعر الرفع Active sensor يسمح بتحديد موقع وبعد هدف معين بالنسبة للمرسل وذلك عبر قياس زمن انتشار الشعاع الضوئي باتجاه هذا الهدف ذهابا وإيابا حيث ينتج عن ضرب القيمة المقاسة بسرعة انتشار الضوء حساب المسافة range بين المرسل والهدف. يتم استخدام الليدار في قياس المسافات واستشعار وتحديد موقع مكونات الأوساط التي يمر بها الإشعاع.

أو بعبارة أخرى الليدار LIDAR وهو تحديد المدى عن طريق الضوء أو الليزر وهي تكنولوجيا استشعار عن بعد مرئية باستخدام نبضات من الضوء، عادة ما تكون أشعة ليزر ويتم عن طريقها حساب المسافات أو خصائص الأهداف المرصودة كما يوضحه الشكل (III-2).

[49]



الشكل (2-III) : الليدار [5]

III-4- مبدأ عمل الليدار LIDAR :

بوجه عام، يقوم مبدأ الليدار، على إرسال نبضة ليزيرية قصيرة الأمد طاقتها $P_0(\lambda)$ في اللحظة $t=0$ عبر الغلاف الجوي من خلال تليسكوب الشكل (3-III) يوضح مبدأ عمل الليدار. فيتبعثر جزء صغير منها راجعا، من خلال التليسكوب نفسه، إلى مجموعة الكشف، التي تسجل إشارة شدتها $S(\lambda, t)$ ، تقاس بمقدرة فصل طيفية وزمنية عالية. تتعلق هذه الإشارة في اللحظة $t_1=2R/C$ ، بالتبعثر على الجسيمات الواقعة على مسافة R ، فإذا سمح الكاشف بمرور الإشارة الراجعة خلال مجال زمني:

$$t_1 \pm 1/2\Delta t \dots\dots\dots(I-1)$$

عندئذ تعطى شدة الإشارة المقاسة المكاملة زمنيا كما يأتي :

$$S(\lambda, t_1) = \int_{t_1-1/2\Delta t}^{t_1+1/2\Delta t} S(\lambda, t) dt \dots\dots\dots(I-2)$$

تناسب هذه الإشارة المقاسة والمتكاملة زمنيا مع طاقة شدة الضوء المتبعثر على الجسيمات الواقعة ضمن مسافة تساوي:

$$R \pm \frac{1}{2} \Delta R = \frac{1}{2} C(t_1 \pm \frac{1}{2} \Delta t) \dots\dots\dots(I-3)$$

تتعلق شدة الإشارة المسجلة $S(\lambda, t)$ بتوهين النبضة الأصلية المرسلة $P_0(\lambda)$ ، وأيضا بطريقها ذهابا وإيابا وبالزاوية المجسمة $d\Omega = D^2/R^2$ التي يغطيها التليسكوب ذو القطر D والفتحة الدائرية $A = \pi(\frac{D}{2})^2$. إلى جانب ذلك تتعلق هذه الشدة بتركيز الجسيمات المبعثرة N . والمقطع الفعال للتبعثر الراجع σ^{scatt} ، وفق العلاقة:

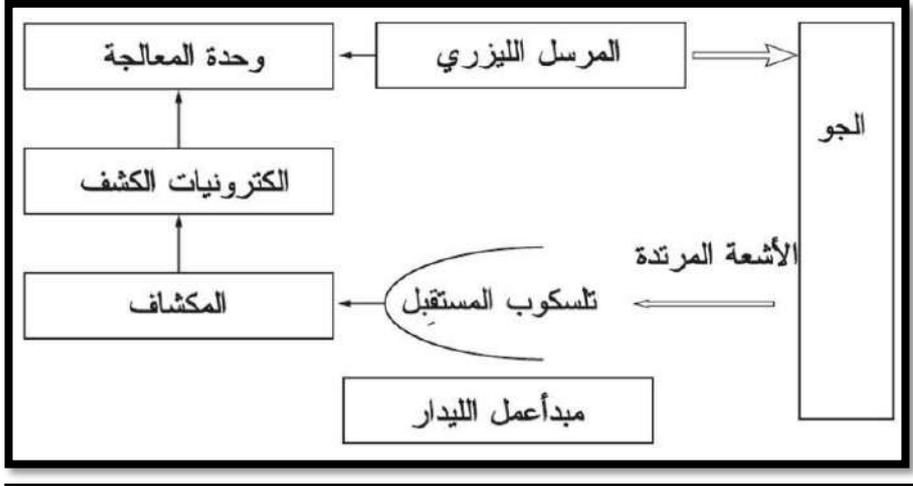
$$S(\lambda, t) = P_0(\lambda) e^{-2a(\lambda)R} N \sigma^{scatt}(\lambda) D^2/R^2 \dots\dots\dots(I-4)$$

إن المقدار الهام في هذا العامل $exp[-2a(\lambda)R]$ لأنه يعطي المعلومات الضرورية عن الأنواع الماصة، لاحتوائه على معامل التوهين المعطى بالعلاقة الآتية:

$$a(\lambda) = a(\lambda) + \sum_k N_k \sigma_k^{scatt} \dots\dots\dots(I-5)$$

حيث $\alpha(\lambda)$: معامل الامتصاص, ويساوي جداء كثافة الجزيئات الماصة بالمقطع الفعال للامتصاص.

$(\alpha(\lambda) = N_i \sigma_i^{abs})$: أما الحد الثاني, فيعبر عن معامل تبعثر الضوء على جميع الجسيمات الموجودة في الغلاف الجوي. [48]



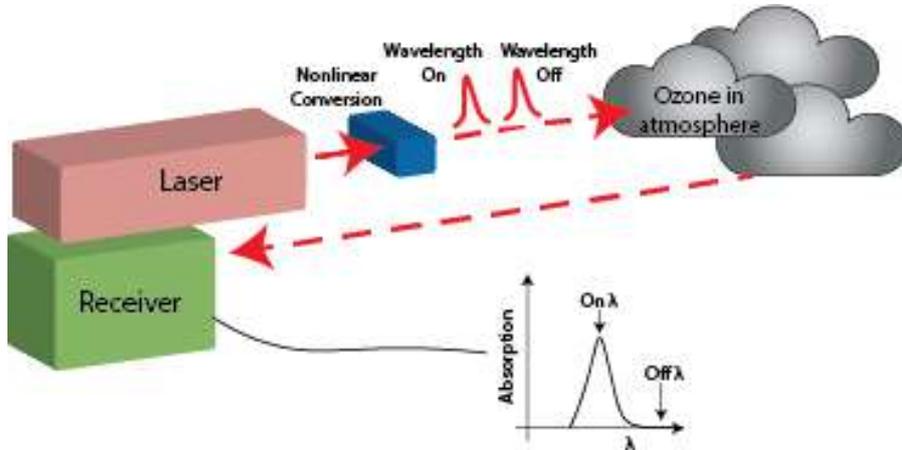
الشكل (3-III) : مخطط مبدأ عمل الليدار [50]

5-III- أنواع الليدار LIDAR:

لدينا أربعة أنواع من أجهزة ليدار وهي موضحة بالشكل التالي : [5]

1-5-III- ليدار تباين امتصاص الضوء (تفاضلي) *Contraste d'absorption de la lumière lidar*

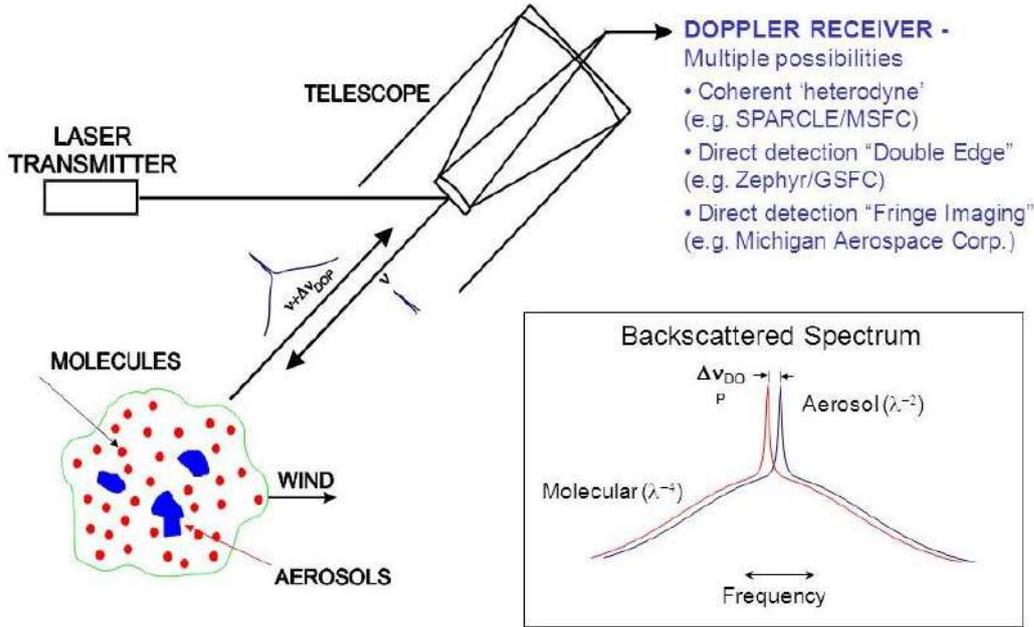
وهو يستخدم لقياس درجة التشبع الكيميائية (مثل الأوزون وبخار الماء والشوائب في الهواء). و يستخدم الليدار موجتين ضوئيتين مختلفتين في طول الموجة يتم اختيارهم حسب المادة المراد قياس درجة التشبع لها يتم امتصاص أحد الموجتين الضوئيتين بواسطة هذه المادة ولا يتم امتصاص الموجة الأخرى بل يتردد جزء منها، يقوم الجهاز بتحليل الفرق في الكثافة الضوئية بين الموجتين المرتدتين ويحتسب درجة التشبع للمادة المراد اختبارها الشكل (4-III).



الشكل (4-III) : ليدار الامتصاص التفاضلي لرسم خريطة ناسا NASA للأوزون. [51]

III-5-2- ليدار دوبلر Lidar-Dopler:

وهو يستخدم لقياس سرعة الأجسام المتحركة سواء الصلبة أو الغازية مثل الرياح والعواصف الشكل (III-5). عندما يسقط الضوء على جسم يتحرك في اتجاه الليدار سواء بالإقتراب أو الابتعاد فيمكن تحديد سرعته, فعندما يتحرك اقترابا من الليدار سيستقبل الليدار موجة ضوئية أقل طول موجي من الموجة الأصلية وعندما يتحرك الجسم مبتعدا عن الليدار سيستقبل الليدار موجة ضوئية أكثر طول موجي من الموجة الأصلية وتسمى هذه الخاصية بخاصية تأثير دوبلر.



الشكل (III-5) : مخطط يبين أسس ليدار دوبلر لقياس الرياح كورتيزي (Courtesy) لووكالة

ناسا NASA [52]

III-5-3- ليدار التبعثر الخلفي المرن مي (Mie) أو رايلي (Rayleigh):

تبعثر مي (Mie) عن الجسيمات (الأيروسولات) وتبعثر رايلي (Rayleigh) عن الجزيئات، حيث يعطي إشارات قوية تلاحظ بوضوح عند دراسة التبعثر الراجع الناجم عن مسح الغلاف الجوي بواسطة الليدار الشكل (III-6). ولما كانت هذه الإشارات واضحة، كان بالإمكان اعتبارها ناتجة عن هدف طبوغرافي، ذي توزيع مكاني على كامل المسافة. يسيطر تبعثر رايلي عند الأطوال الموجية القصيرة (uv) لتعلقه بالمقدار $(1/\lambda^4)$ أما تبعثر مي فيسيطر عند الأطوال الموجية المرئية، وتحت الحمراء القريبة لتعلقه بالمقدار $(1/\lambda^n)$ حيث $(n \leq 4)$ ، لهذا يستخدم تبعثر مي (Mie) المرتد عن الجسيمات لرسم خريطة للتوزيع الاتجاهي لهذه الأيروسولات على مساحات واسعة عند استخدام الليدار. تعطى معادلة الليدار العامة، أي شدة الضوء المبعثر الراجع المسجلة كتابع للطول الموجي λ والمسافة كما يأتي :

$$P(\lambda, R) = C W n_b (R) \sigma_b \left(\frac{\Delta R}{R^2}\right) \exp[-2 \int_0^R (\sigma(\lambda) N(r) + K_{ext}(r) dr)] \dots \dots \quad (II-1)$$

حيث:

C: ثابت الجملة.

W: طاقة النبضة الليزرية المرسلة.

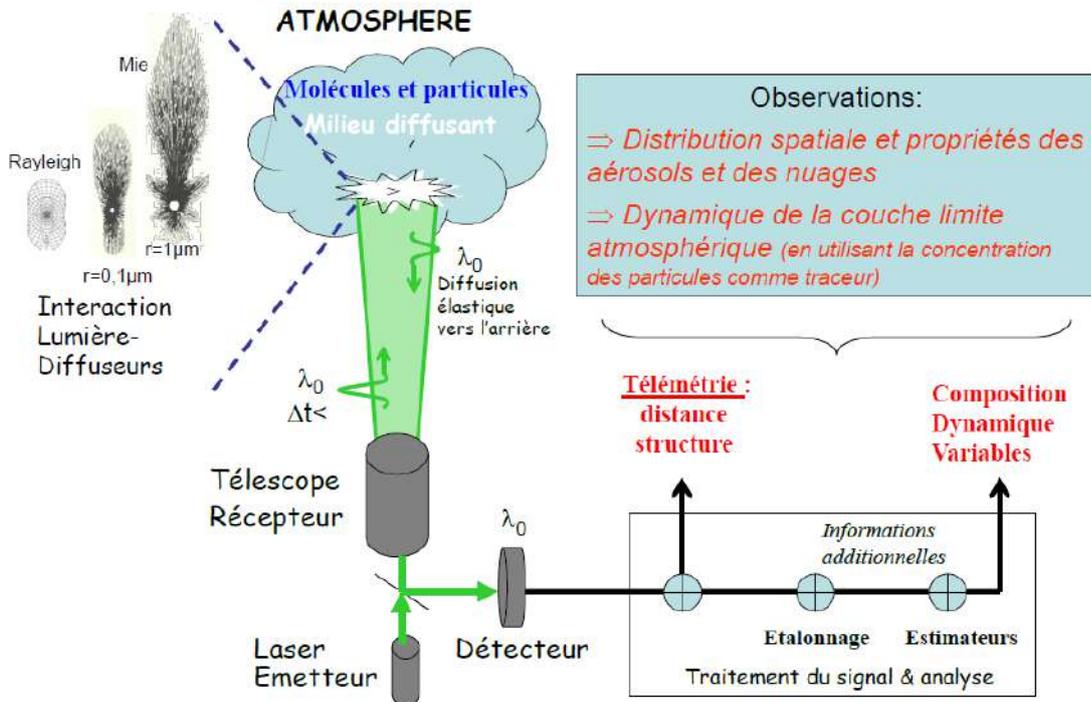
$n_b(R)$: الكثافة العددية للجسيمات.

σ_b : المقطع الفعال للتبعثر الراجع.

أما العامل الأسّي فيعبر عن توهين الحزمة الليزرية، والأشعة المتبعثرة الراجعة الناتجة عن وجود جزيئات ماصة تركيزها $N(r)$.

$\sigma(\lambda)$: المقطع الفعال لامتصاصها وعن وجود الجسيمات الموهنة.

معامل التوهين $k_{ext}(r)$ مستقل عن طول الموجة.

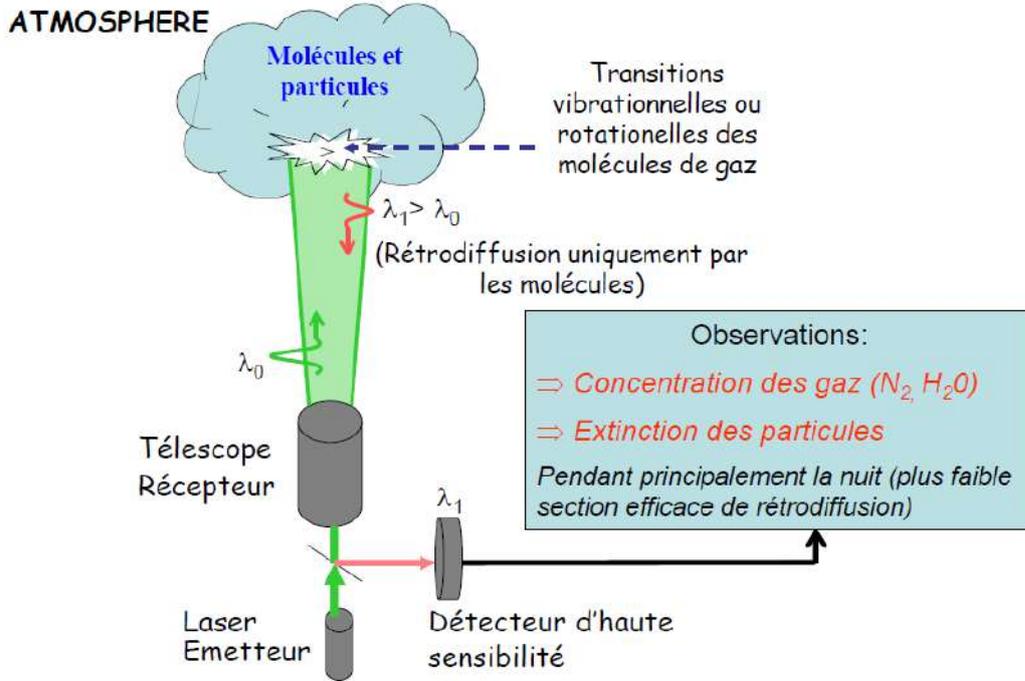


الشكل (III-6) : ليدار التبعثر الخلفي المرن مي أو رايلي (Mie/Rayleigh). [53]

III-5-4- ليدار رaman Lidar Raman:

يستخدم تبعثر رaman ، لإجراء قياسات كمية للمكونات الغازية للغلاف الجوي . وفي هذه الحالة ، تأخذ الثوابت في معادلة الليدار معنى جديدا الشكل (III-7). فتصبح $n_b(R)$ الكثافة العددية لجزيئات رaman المبعثرة للضوء ، σ_b المقطع الفعال لرامان . لما كان تبعثر رaman لا مرن ، تبدي الإشارات المسجلة انزياحات رaman المميزة للجزيئات المعتبرة. لكن هذه الإشارات ، تكون اصغر من ناحية الشدة، بمقدار 10^3 مرة من تلك الناتجة عن تبعثر رايلي للجزيئات نفسها . لتلاقي إشارات تبعثر رايلي الشديدة التي تستخدم مرشحات تداخلية، يوافق مركز عصابة

نفوذيتها طول موجة تبعثر رامان، أما خارج هذا المجال، فنفوذيتها معدومة. مع ذلك تبقى إشارة تبعثر رامان ضعيفة، ويمكن زيادة شدتها بزيادة التركيز وتقصير المجال للقياس. لهذا السبب يستخدم ليدار رامان بحالة دراسة المكونات الأساسية للغلاف الجوي O_2 , N_2 , H_2O ، نظرا للأهمية الكبيرة لهذه القياسات في علم الأرصاد الجوية.



الشكل (III-7): ليدار التبعثر الخلفي اللامرن رامان (Raman). [53]

III-6- مكونات الليدار:

يتكون الليدار من مجموعة من المكونات الرئيسية هي: [48], [49]. وسائل الجمع وتتمثل في الطائرات والمروحيات.

الماسح الضوئي بالليزر . ساعة عالية الدقة .

نظام الملاحة IMU بالقصور الذاتي لقياس اهتزاز الطائرة و زاوية الانعراج . جهاز حاسب آلي لتخزين وتسجيل البيانات.

ومكونات أخرى هي :

مرسل (transmitter): لإرسال الإشارات ناحية الأهداف المرجوة .

مستقبل (receiver): لاستقبال الإشارات المرتدة .

مستشعرات (antennas): لتقويم وتركيز الإشارات .

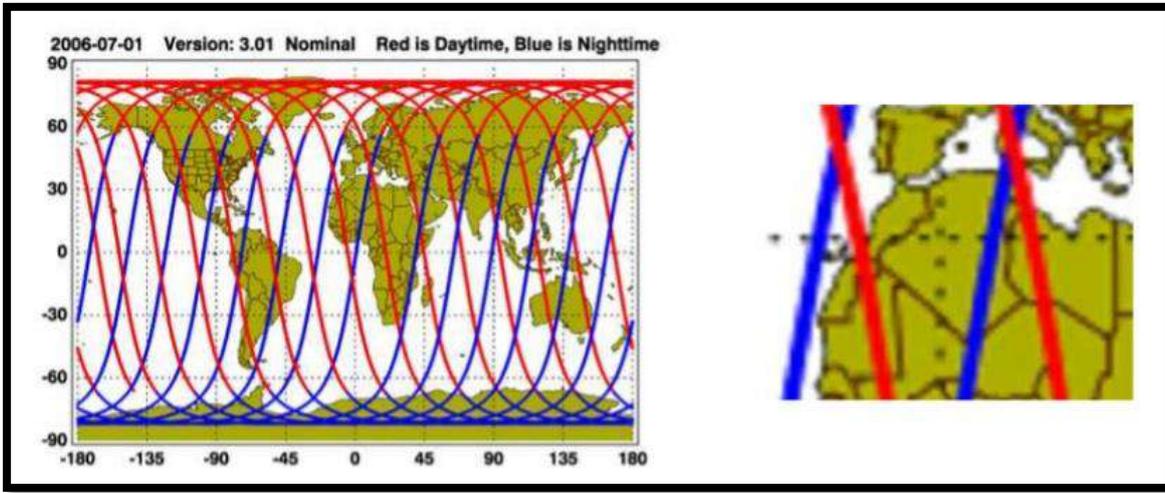
ملحقات الكترونية وحواسيب لتحليل البيانات.

III-7- الخصاص الضوئية لليدار:

يعتمد الليدار في حصوله على البيانات على العوائد التي تعود إلى الجهاز مرة أخرى، هذه العوائد هي نبضات الليزر التي تعود من الأجسام المراد تصويرها ، وتكون على هيئة سحابة من النقاط. [50]

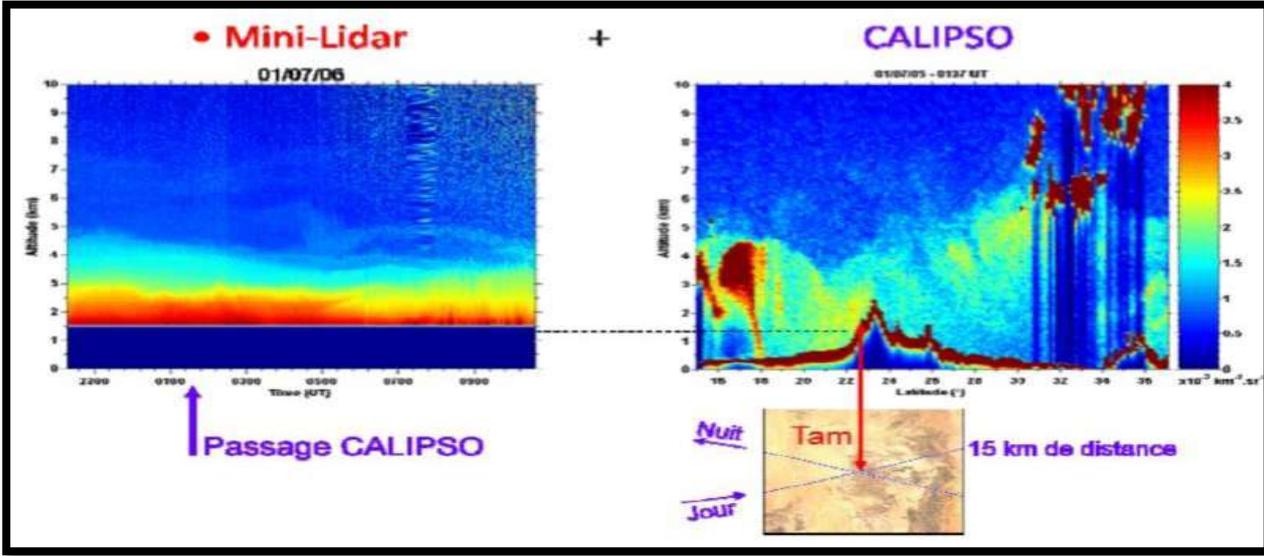
III-7-1- التغطية الأرضية لليدار CALIOP :

يمكننا أن نلاحظ في الشكل (III-8) أدناه التغطية المكانية المنخفضة لليدار CALIOP (نهاراً باللون الأحمر وليلاً باللون الأزرق). يتم فحص المدار من أجل العودة إلى نفس المسار على الأرض (10 km) كل 16 يوم، على يمين الشكل (III-8). نقدم تتبع CALIOP اليومي الأقرب لمدينة تمراست في 1 يوليو 2006. [5]



الشكل (III-8) : التغطية المكانية ل CALIPSO LIDAR (النهار باللون الأحمر والليل باللون الأزرق) في 1 يوليو 2006 (وفقاً لموقع NASA LANGLEY) على اليسار واليمين، قاموا في دراسة سابقة بالتكبير على مدار CALIPSO اليومي بما في ذلك تتبع الأرض الأقرب إلى بلدة تمراست في 01 تموز 2006. [5]

يوضح الشكل (III-9) : نوعين من الصور التي تم الحصول عليها بواسطة الليدارين، الصورة على اليسار تمثل تلك حصل عليها الليدار المصغر، وعلى اليمين التي أعادها القمر الصناعي CALIPSO، وتصدر الإشارة مع ذلك، إلا أن القمر الصناعي لا يزال لا يسمح برؤية دقيقة للمنطقة المدروسة، لأنه يعطي نظرة عامة وواسعة النطاق. [5]



الشكل (9-III) : صور ليدارين (مسح CALIPSO 15 كم فوق تمرناست في 1 يوليو 2006). [5]

و يمثل كل من سمك الهباء البصري τ , عامل الضباب β , ومعامل أنجستروم α , الأساس لدراسة مناخ الهباء الجوي في منطقة معينة.

III-7-2- السمك الضوئي :

السمك الضوئي لطبقة الغلاف الجوي يقوم بقياس درجة مدى شفافية هذه الطبقة، حيث يعرف بأنه اللوغاريتم الطبيعي للكسر الذي يمثل الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي امتصته مركبات هذه الطبقة (الطبقة التي اخترقتها) على الإشعاع الضوئي لمصدر ضوئي قبل اختراق وسط معين الشكل (III-10).

الشرح: إذا كان لدينا $I_0(\lambda)$ هو الإشعاع الضوئي لمصدر ضوئي قبل اختراق وسط معين، و $I(\lambda)$ قيمة الإشعاع بعد اختراق الوسط فإن السمك الضوئي $\tau(\lambda)$ والذي يمثل الجزء الضائع عبر:

الوسط عن طريق الامتصاص والنشر والذي يعطى بالعلاقة التالية:

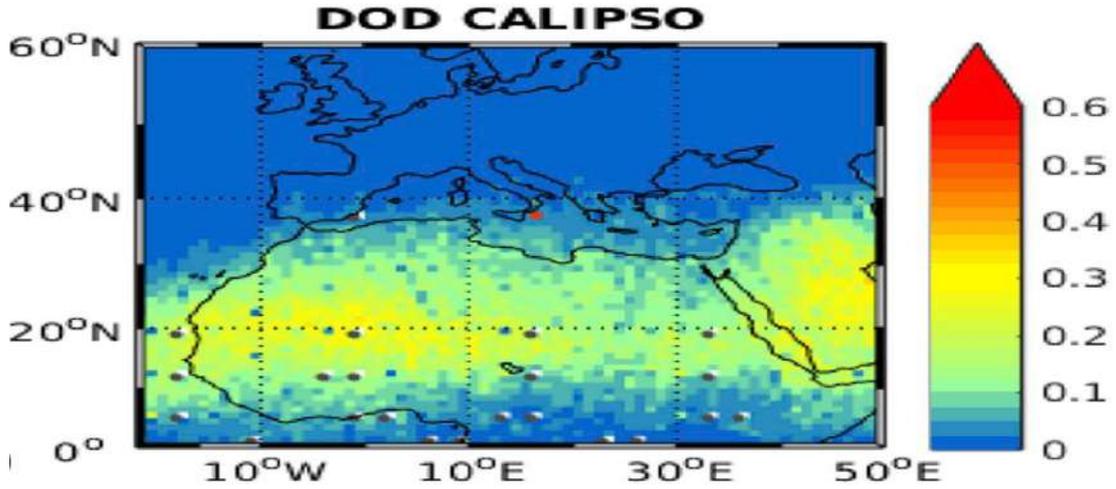
$$I(\lambda) / I_0(\lambda) = \exp^{-\tau(\lambda)} \dots\dots\dots (III-1)$$

بعد التبسيط وبدون ذكر علاقته بالطول الموجي، فنستطيع كتابة هذه العلاقة بالشكل التالي:

$$\tau = -\ln \left(\frac{I}{I_0} \right) \dots\dots\dots (III-2)$$

ملاحظة:

بالنسبة للسمك الضوئي نأخذ قيمة 550 نانومتر طول الموجة لرسم خرائط السمك الضوئي لحالات انتشار الضوء. [9]



الشكل (III-10) : متوسط السمك الضوئي للهباء الجوي 2009-2013 لليدار CALIOP, Konsta et al.2018

III-7-3- معامل أنجستروم α لتصنيف حجم جزيئات الغبار :

يعرف معامل أنجستروم على أنه قيمة الاعتماد الطيفي للسمك البصري للهباء الجوي بين طولين موجيين للضوء، ويبين المعامل حجم الجزيئات حيث تزداد قيمته كلما قل نصف قطر جزيء الهباء والعكس صحيح.

ويعتمد معامل أنجستروم في حسابه على قياس قيم العمق البصري للهباء (AOD) عند طولين موجيين مختلفين، وغالبا ما يستخدم معامل أنجستروم كدليل دقيق على حجم جزيئات الهباء. إن تأثير الغبار على الإشعاع الشمسي عند سطح الأرض يمكن وصفه بعلاقة خطية بين صافي الإشعاع عند السطح والعمق البصري (AOD) للغبار، فعند عمق بصري مقداره الوحدة عند الطول الموجي 450nm، نجد أن كمية الإشعاع تقل بمقدار 140w/m^2 ، بينما تزداد كمية الأشعة طويلة الموجة بمقدار (70w/m^2) (T.Stanelle et al, 2010).
و العلاقة بين معامل أنجستروم ونصف قطر جزيء الهباء الذي يؤثر في امتصاص وتشتت الأشعة الشمسية هي علاقة عكسية، حيث يزداد المعامل كلما قل نصف القطر والعكس صحيح.

$$\alpha = \frac{\ln\left[\frac{\alpha_{\text{ext}}(\lambda_1)}{\alpha_{\text{ext}}(\lambda_2)}\right]}{\ln\frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$$

III-7-4- معامل التبعثر (الانتشار) β :

انتشار الجزيئات يتبع قانون رايلي :

$$\beta_m(\lambda, z) = 1.0 * 10^{-7} \left[\frac{\lambda(\mu\text{m})}{\lambda_0} \right]^{-4} \exp\left(-\frac{z}{z_{\text{mol}}}\right) \text{m}^{-1} * \text{sr}^{-1}$$

حيث :

$$\lambda_0 : 10.6\mu\text{m}$$

$$z_{\text{mol}} : 8000\text{m}$$

III-7-5- إيجابيات (مميزات) الليدار:

من أهم مميزاته ما يلي: [50], [48]
 جمع البيانات التي نحصل عليها تكون بصيغة رقمية .
 البيانات التي نحصل عليها مرجعة جغرافيا .
 إمكانية المسح نهارا وليلا .
 القدرة على مسح مناطق واسعة وبسرعة كبيرة .
 البيانات ذات دقة مكانية عالية.
 أقل كلفة من طرق المساحة التصويرية التقليدية .
 يمكن الحصول على بيانات للمناطق الصعبة (الجبال) وذات الضلال (مباني).

III-7-6- سلبيات (عيوب) الليدار:

عدم القدرة على اختراق الغابات شديدة الكثافة يقود لأخطاء في النموذج الارتفاعي . حجم
 البيانات الضخمة عموما مما يؤدي لصعوبة في تفسيرها ومعالجتها.
 لا يمكن المسح في الجو الغائم أو الماطر أو شديد الرطوبة. [48]

الفصل الرابع :

الجانب التطبيقي

1-IV- مقدمة :

سنتناول في هذا الفصل دراسة حالة غبارية في الصحراء الجزائرية ليوم 08 مارس 2007 وكمراحل لهذه الدراسة سنتطرق في هذه الدراسة إلى الوضعية السينوبتيكية في هذا اليوم باستعمال خرائط الضغط السطحي والارتفاع الجهدي، الوضعية السطحية في مواقع الدراسة باستعمال الرياح والرؤية، النماذج العددية للطقس، المتابعة الزمنية بواسطة ليدار CALIOP.

2-IV- دراسة حالة غبارية على الصحراء الجزائرية :**1-2-IV- مناطق الدراسة :**

سنتناول في هذه الدراسة حالة غبارية في الصحراء الجزائرية ليوم 08 /03 /2007 , وهي منطقة تتميز بوجود زوابع رملية وترابية, لدراستنا تم اختيار خمس محطات من الشبكة السينوبتيكية الوطنية وهي: ورقلة, تقرت, المنيعه, غرداية, الوادي. كما يبينه الشكل (1-IV), وأهم خصائصها الجغرافية يوضحها الجدول (1-IV).

الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع
ورقلة	05° 24' E	31° 56' N	72
تقرت	05° 06' E	33° 04' N	503
غرداية	03° 47' E	32° 23' N	84
الوادي	06° 47' E	33° 30' N	396
المنيعه	02° 88' E	26° 43' N	

جدول (1-IV) : الخصائص الجغرافية لمحطات الدراسة (المصدر ONM).



الشكل (1-IV) : صورة توضح مناطق الدراسة.

IV-2-2- دراسة مناخية :**تقرت :**

إن الميزة الأساسية لمناخ منطقة تقرت هو الطابع الصحراوي الجاف مع أن الإقليم يمثل شريطا رطبا في وسط صحراوي بفضل مياهه الجوفية القريبة من السطح. درجة الحرارة المتوسطة الدنيا وصلت 4.31 درجة في حين درجة الحرارة القصوى وصلت إلى 33.8 درجة، أما بالنسبة للتساقط وصل إلى 17.47 mm كقيمة قصوى و 0.23 mm كقيمة دنيا، والرياح وصلت إلى سرعة 4.11 m/s.

ورقلة :

يسود ولاية ورقلة المناخ الصحراوي الذي يتميز بضعف كمية الأمطار ودرجات الحرارة المرتفعة والتبخر القوي، ترتفع درجة الحرارة حيث درجة الحرارة المتوسطة الدنيا وصلت 5 درجة في حين درجة الحرارة القصوى وصلت إلى 45 درجة، أما بالنسبة للتساقط وصل إلى 8 mm كقيمة قصوى و 0.3 mm كقيمة دنيا، والرياح وصلت إلى سرعة 11.5 m/s.

غرداية :

كون الولاية واقعة في مناطق صحراوية، فإن مناخ المنطقة صحراوي جاف، المدى الحراري واسع بين النهار والليل، وبين الشتاء والصيف، حيث وصلت درجة الحرارة إلى قيمة قصوى 34.85 درجة وقيمة قصوى دنيا 11.57 درجة، أما فيما يخص التساقط الأقصى وصل إلى 25.91 mm والتساقط الأدنى وصل إلى 1.52 mm ، أما الرياح تجاوزت 4.9 m/s.

المنيعة :

وصلت درجة الحرارة في هذه المنطقة إلى قيمة قصوى 35.15 درجة وقيمة دنيا 9.05 درجة، أما فيما يخص أقصى تساقط وصلت له المنطقة 14.35 mm والتساقط الأدنى وصل إلى 0.29 mm ، أما الرياح تجاوزت 20.9 m/s.

الوادي :

تتميز هذه المنطقة بمناخ صحراوي حار وجاف، وصلت درجة الحرارة إلى قيمة قصوى 34.7 درجة وقيمة دنيا 11.8 درجة، أما فيما يخص التساقط الأقصى وصل إلى 12 mm والتساقط الأدنى وصل إلى 0.2 mm ، أما الرياح تجاوزت 10 m/s.

IV-2-3- الحالة الغبارية ليوم 08 مارس 2007 :

كتطبيق للرصد عن بعد باستعمال جهاز الليدار، قمنا بتتبع الحالة الغبارية ليوم 08 مارس 2007 على مستوى الصحراء الجزائرية.

سبب اختيار هذه الظاهرة هو عبور القمر الصناعي CALIPSO على هذه المناطق ليلا ونهارا.

كمراحل لهذه الدراسة سوف نتناول الوضعية السينوبتيكية ليوم 08 مارس 2007 :

1- باستعمال خرائط الضغط السطحي والرياح والارتفاع الجهدى (Geopotential).

2- الوضعية السطحية في مواقع الدراسة باستعمال الرياح والرؤية.

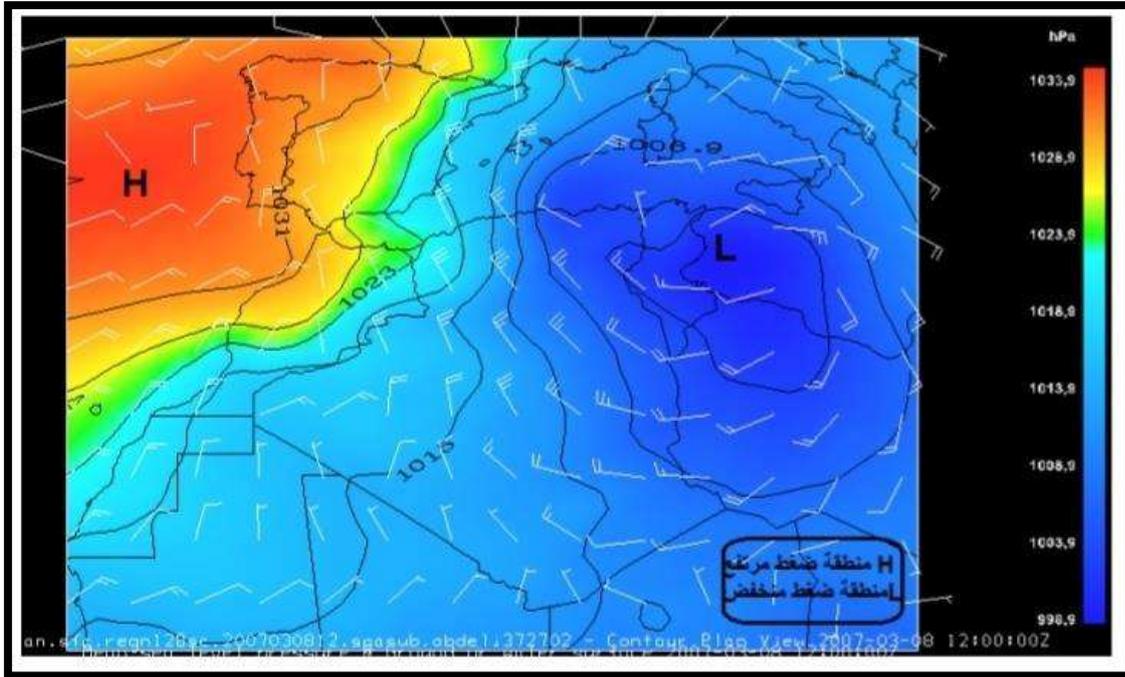
3-النماذج العددية للطقس.

4-المتابعة بواسطة ليدار CALIOP.

IV-2-3-1- باستعمال خرائط الضغط السطحي والرياح والارتفاع الجهدي : (Geopotential)

IV-2-3-1-1- العاصفة الرملية 2007/03/10-8 (غرداية-المنيعة-حاسي مسعود-ورقلة- تقرت):

بداية الحالة الغبارية يوم 2007/03/08 على الساعة 12:00، لتزداد شدتها في يوم 2007/03/09 على الساعة 12:00. لتتواصل إلى يوم 2007/03/10 على الساعة 12:00 الشكل (2-IV). [9]



الشكل (2-IV) : توزيع الرياح ومناطق الضغط عند بداية الزوبعة (2007/03/08).

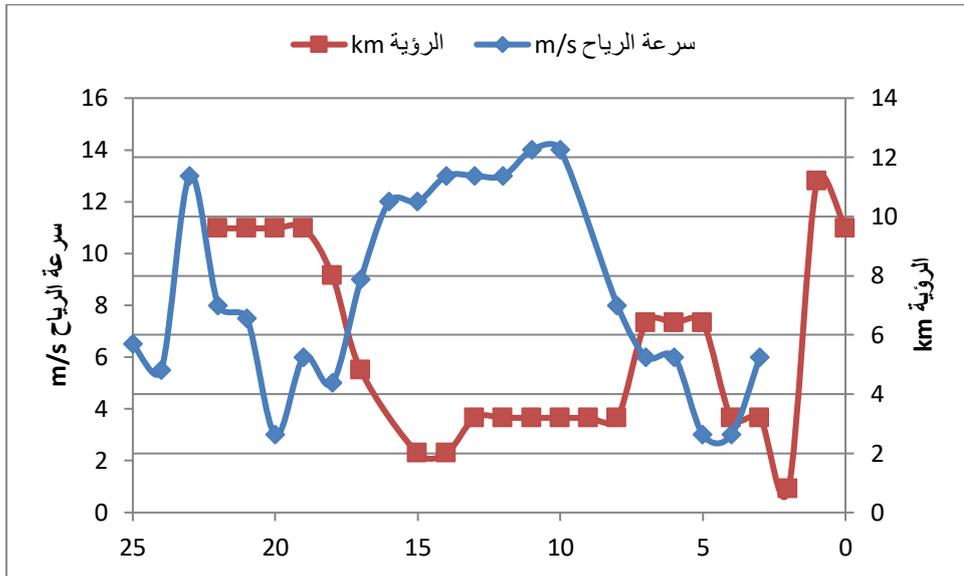
[9] (ECMWF)

يشير الشكل (2-IV) الخاص بتوزيع الضغط والرياح على مستوى سطح البحر، بحيث تكون متمركزة على الأراضي التونسية وغرب ليبيا. يعمل هذا المنخفض على تدفق رياح آتية من الشمال، ومن ناحية أخرى يعمل مرتفع جوي 1034 hpa متمركز على المنطقة الشرقية للبحر الأطلسي، يعمل تقارب هذا المنخفض والمرتفع على زيادة شدة الرياح باتجاهات شمال-شمال غربي بقيم على زيادة شدة الرياح باتجاهات شمال-شمال غربي بقيم 35 kt، تتقارب منطقتي الضغط المرتفع والمنخفض مسببة إثارة للرياح مما يؤدي إلى انبعاث الغبار في الجو.

IV-2-3-2-الوضعية السطحية في مواقع الدراسة باستعمال الرياح والرؤية :

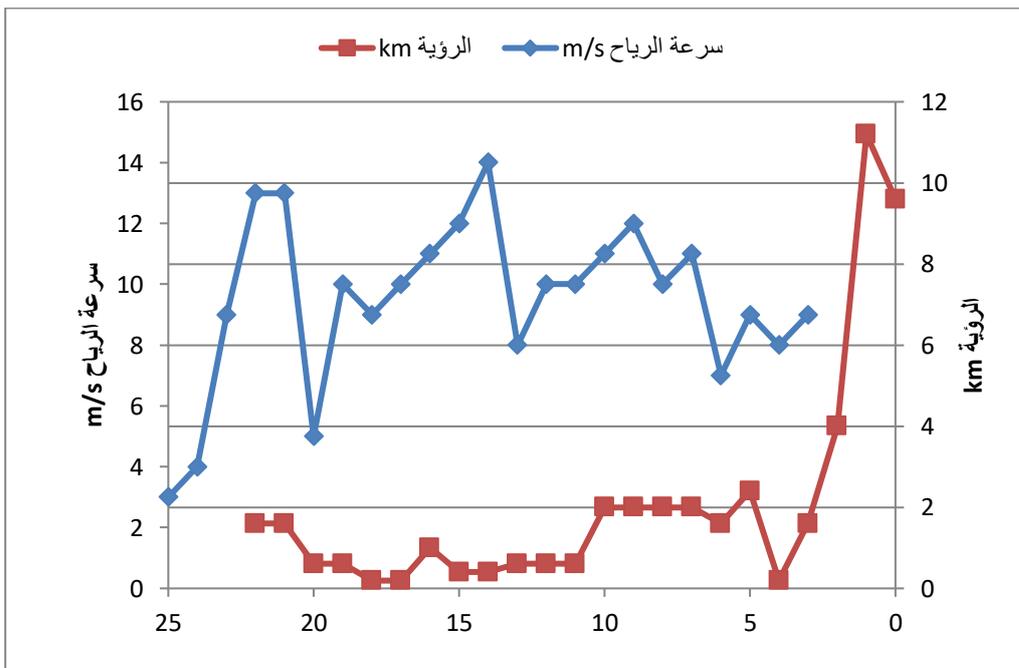
يوضح الشكل (3-IV) منحني تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة تقرت، حيث يبدأ ارتفاع شدة الرياح ابتداء من الساعة 05:00 صباحا لتتزايد إلى أن تبلغ أوجها

على الساعة 12:00 بسرعة تصل إلى 14m/s مما يقابلها انخفاض كبير جدا في الرؤية يصل إلى 2km بفعل تزايد انبعاث الغبار في الجو، ويستمر هذا الوضع إلى غاية الساعة 15:00، وهذا ما تشير إليه التقارير الملاحظة في محطة الرصد التابعة للموقع.



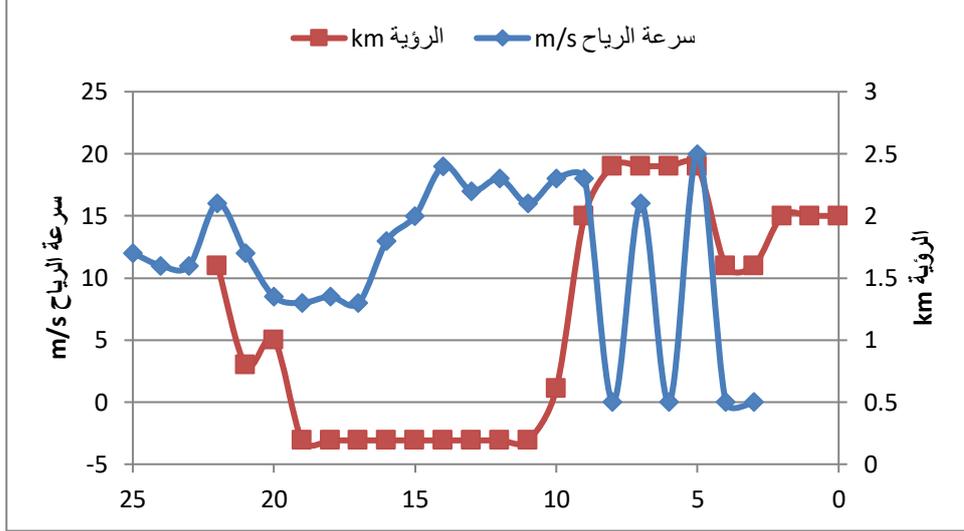
الشكل (3-IV) : منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة تقرت.

يوضح الشكل (4-IV) منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة ورقلة، حيث يبدأ ارتفاع شدة الرياح على الساعة 03:00 صباحا لتتزايد إلى أن تبلغ أوجها على الساعة 12:00 بسرعة 14m/s مما يقابلها انخفاض كبير في الرؤية يصل إلى 0.6km بفعل تزايد انبعاث الغبار في الجو، وهذا ما تشير إليه التقارير الملاحظة في محطة الرصد التابعة للموقع.



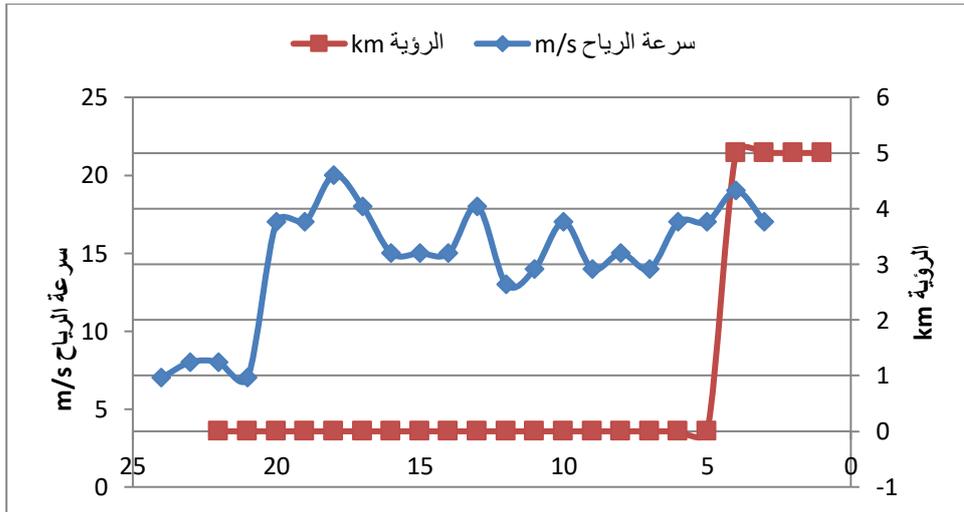
الشكل (4-IV) : منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة ورقلة.

يوضح الشكل (5-IV) منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة غرداية, حيث يبدأ ارتفاع شدة الرياح على الساعة 15:00 لتصل إلى أوجها على الساعة 13:00 بسرعة 19m/s مما يقابلها انخفاض شديد جدا في الرؤية يصل قيمته 0.1km بفعل تزايد انبعاث الغبار في الجو, وهذا ما تشير إليه التقارير الملاحظة في محطة الرصد التابعة للموقع.



الشكل (5-IV) : منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة غرداية.

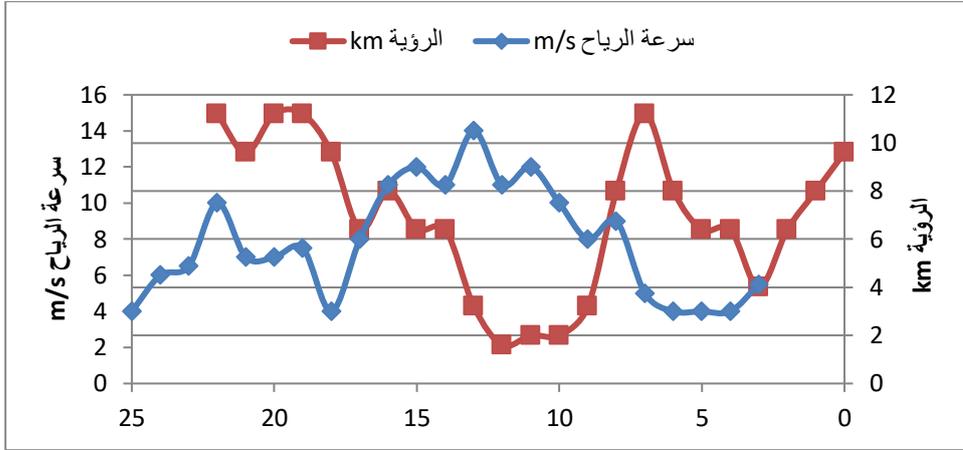
يوضح الشكل (6-IV) منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة المنيعه, حيث يبدأ ارتفاع شدة الرياح على 03:00 حيث تبلغ أوجها على الساعة 17:00 بسرعة 20m/s مما يقابلها انعدام في الرؤية بفعل تزايد انبعاث الغبار في الجو, وهذا ما تشير إليه التقارير الملاحظة في محطة الرصد التابعة للموقع.



الشكل (6-IV) : منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة المنيعه.

يوضح الشكل (7-IV) منحنى تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة الوادي, حيث تبدأ ارتفاع شدة الرياح على 03:00 حيث تتزايد إلى أن تبلغ أوجها على الساعة

12:00 بسرعة 14m/s مما يقابلها انخفاض في الرؤية يصل قيمته إلى 1.8km بفعل تزايد انبعاث الغبار في الجو، وهذا ما تشير إليه التقارير الملاحظة في محطة الرصد التابعة للموقع.



الشكل (7-IV) : تغيرات سرعة الرياح والرؤية طوال ساعات اليوم لمنطقة الوادي.

3-3-2-IV- النماذج العددية للطقس :

تساعد النماذج العددية للطقس بالتنبؤ بدورة الغبار في الغلاف الجوي. من بين النماذج الأكثر استعمالاً في شمال إفريقيا والساحل نموذجي DREAM و NAAPS. في هذه الدراسة استعنا بخرائط السمك الضوئي وتراكيز الغبار لمتابعة ظاهرة الغبار في الجو في يوم 08 مارس 2007 ومطابقة هذه المعطيات مع معطيات المستخلصة من جهاز ليدار CALIOP الذي يمر في نفس اليوم أي 08 مارس 2007 بمناطق الدراسة.

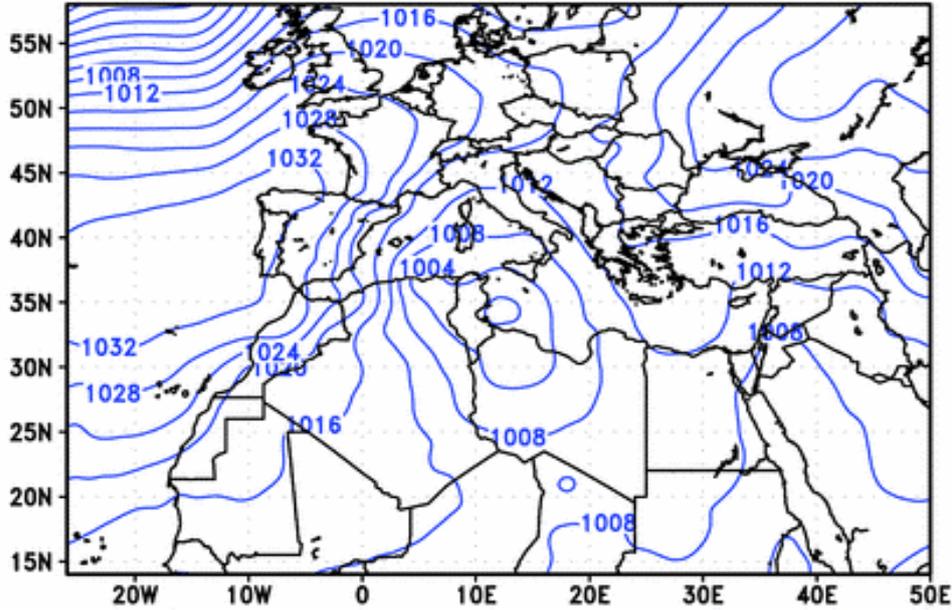
1-3-3-2-IV- مستخرجات نموذج الرصد الجوي DREAM :

1-1-3-3-2-IV- الضغط الجوي على مستوى سطح البحر:

يشير نموذج DREAM إلى المستنتجات المستخلصة سالفاً بالنسبة للوضعية السينوبتيكية ليوم 08 مارس 2007 على الساعة 12:00 الشكل (8-IV) لوجود منطقة ضغط مرتفع على البحر الأطلسي وضغط منخفض في تونس وغرب ليبيا يعمل على زيادة سرعة الرياح السطحية المثيرة للغبار وانخفاض الرؤية الأفقية.

<http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM>

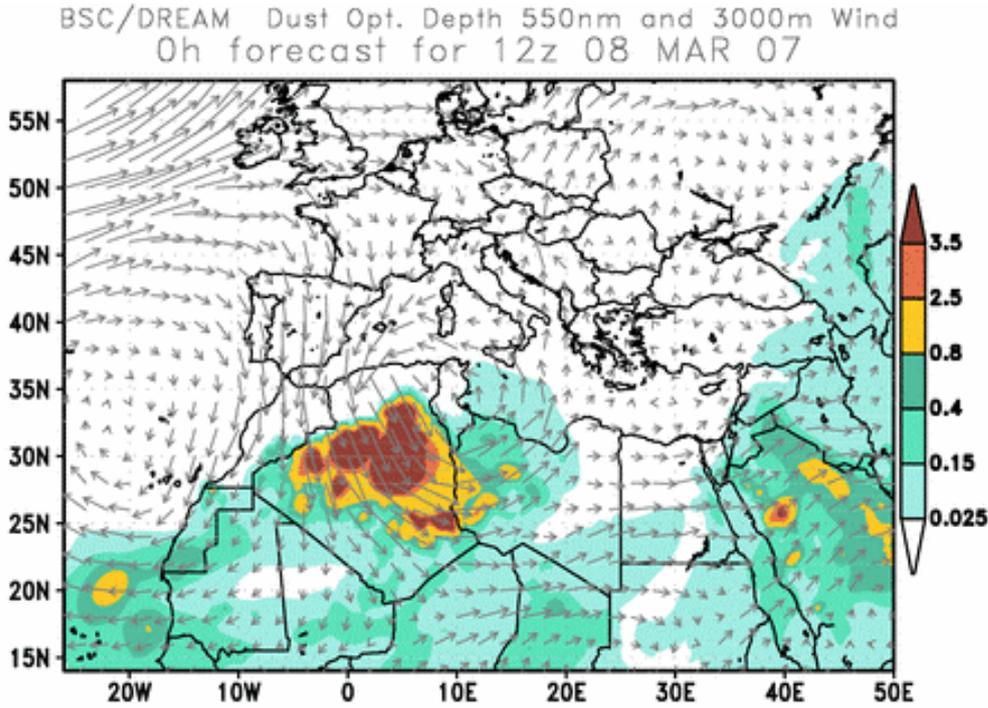
BSC/DREAM 12h acc. Precipitation and MSL Pressure
0h forecast for 12z 08 MAR 07



الشكل (8-IV) : التنبؤ بالضغط السطحي ليوم 08 مارس 2007 على الساعة 12:00 بواسطة نموذج DREAM.

2-1-3-3-2-IV- السمك الضوئي:

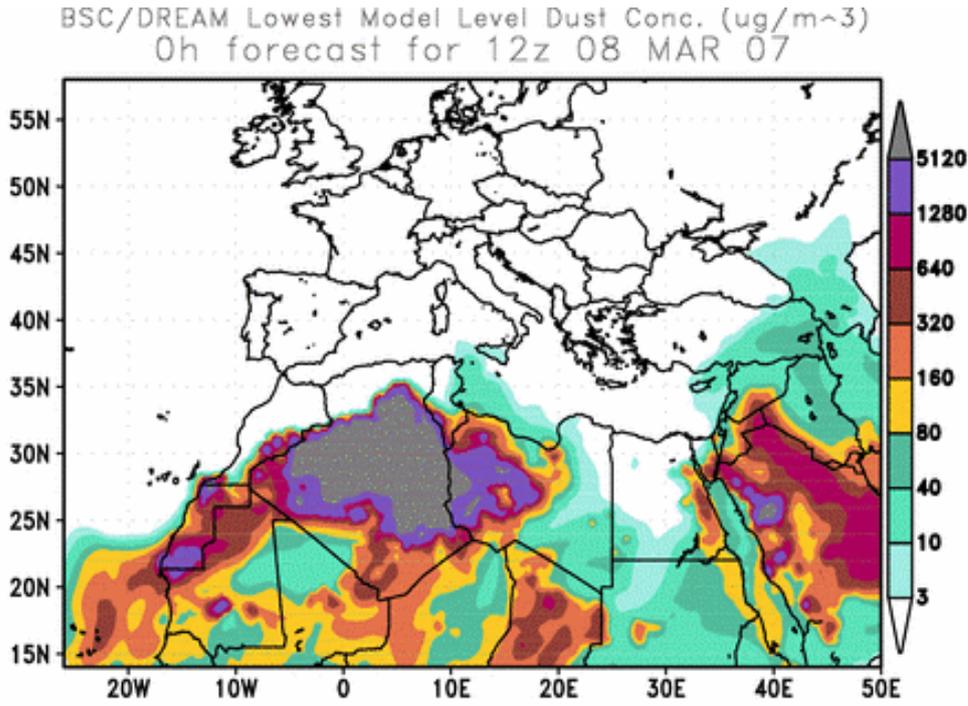
يشير الشكل (9-IV) إلى التنبؤ بالتوزيع المكاني للسمك الضوئي للغبار للموجة 550nm وكذلك حقل الرياح على مستوى 3000m, حيث نلاحظ أعلى مستويات السمك الضوئي في وسط الصحراء ويمثل مناطق الدراسة السالف ذكرها, حيث يتراوح السمك الضوئي من 0.8 إلى أعلى مستوى 3.5, كما تعمل الرياح على مستوى 3000m على نقل الغبار من المناطق الصحراوية إلى مناطق شرق البحر الأبيض المتوسط وصولاً إلى أوروبا الشرقية وآسيا. هذه الوضعية الموافقة للساعة 12:00 تتوافق كلياً مع زيادة سرعة الرياح وشدة التراكيز وانخفاض الرؤية.



الشكل (9-IV) : التنبؤ بالسمك الضوئي ليوم 08 مارس 2007 على الساعة 12:00 بواسطة نموذج DREAM.

3-1-3-3-2-IV-تراكيز الغبار:

تطابقا مع الوضعية السينوبتيكية والنتائج الملاحظة السطحية الخاص ب 08 مارس 2007, يشير الشكل (10-IV) أدناه إلى التوزيع المكاني لتراكيز الغبار على مستوى السطح حيث نلاحظ شدة انبعاث الغبار خلال فترة نهائية أي حوالي الساعة 12:00 بفعل اشتداد الرياح السطحية, حيث كانت تراكيز الغبار في أعلى مستوياتها على كامل الصحراء الوسطى لتشمل مناطق الدراسة. حيث يتنبأ النموذج بقيم عظمى لتراكيز الغبار إلى مستويات $5120\mu g/m^3$ وهذا ما يؤدي إلى الانخفاض الكبير في الرؤية في كامل المواقع.

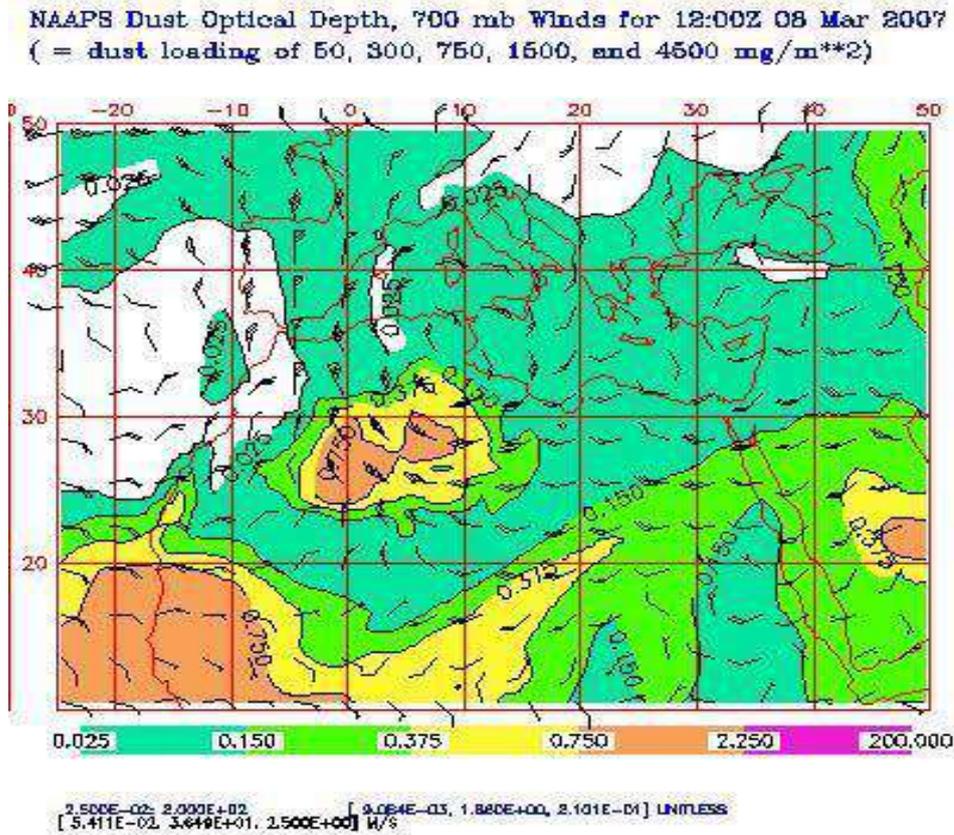


الشكل (10-IV) : التنبؤ بتراكيز الغبار ليوم 08 مارس 2007 على الساعة 12:00 بواسطة نموذج DREAM.

2-3-3-2-IV - مستخرجات نموذج الرصد الجوي NAAPS :

1-2-3-3-2-IV - السمك الضوئي :

الشكل (11-IV) يشير بوضوح إلى حدث للرمال الذي وقع في 2007/03/08 من خلال تحليل توزيع السماكة البصرية للهباء الجوي فوق الصحراء. نلاحظ بوضوح القيم العالية للسمك البصري في منطقة الدراسة بقيم سماكة بصرية تتراوح بين 0.06 و 1.6 وهو ما يتوافق مع قيم AOD الناتجة عن نموذج DREAM .

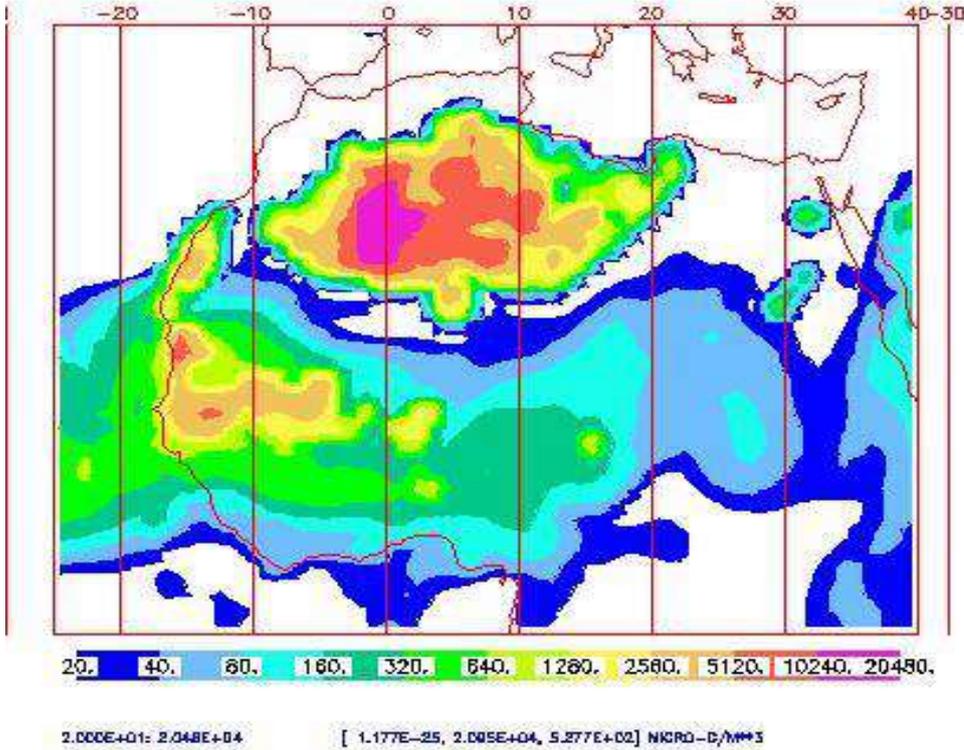


الشكل (11-IV) : التنبؤ بالسلك الضوئي ليوم 08 مارس 2007 على الساعة 12:00 بواسطة نموذج NAAPS.

2-2-3-3-2-IV- تراكم الغبار :

يوضح الشكل (12-IV) توزيع تركيز الغبار الصحراوي فوق الصحراء بتاريخ 2007/03/08 الساعة 12 ظهرا. يظهر حدث الغبار في هذا التاريخ بوضوح بتركيزات عالية جداً في الجنوب الغربي تصل إلى قيم $10240\mu\text{g}/\text{m}^3$ وتركيزات $1260\mu\text{g}/\text{m}^3$ في منطقة الدراسة في اتفاق كامل مع نتائج النموذج.

NAAPS Surface Concentration (ug-m**3)
for 12:00Z 08 Mar 2007 Dust



الشكل (IV-12) : التنبؤ بتركيز الغبار ليوم 08 مارس 2007 على الساعة 12:00 بواسطة نموذج NAAPS.

IV-2-4- المتابعة بواسطة الليدار CALIOP :

في يوم 08 مارس 2007 يمر القمر الصناعي CALIPSO في الفترة النهارية والليلية على بعض المناطق الجزائرية من بينها المناطق الصحراوية : تقرت, ورقلة, غرداية, المنيعية, الوادي, نهارا وليلا .

لمتابعة الرصد بواسطة CALIOP نقوم بدراسة العناصر التالية :

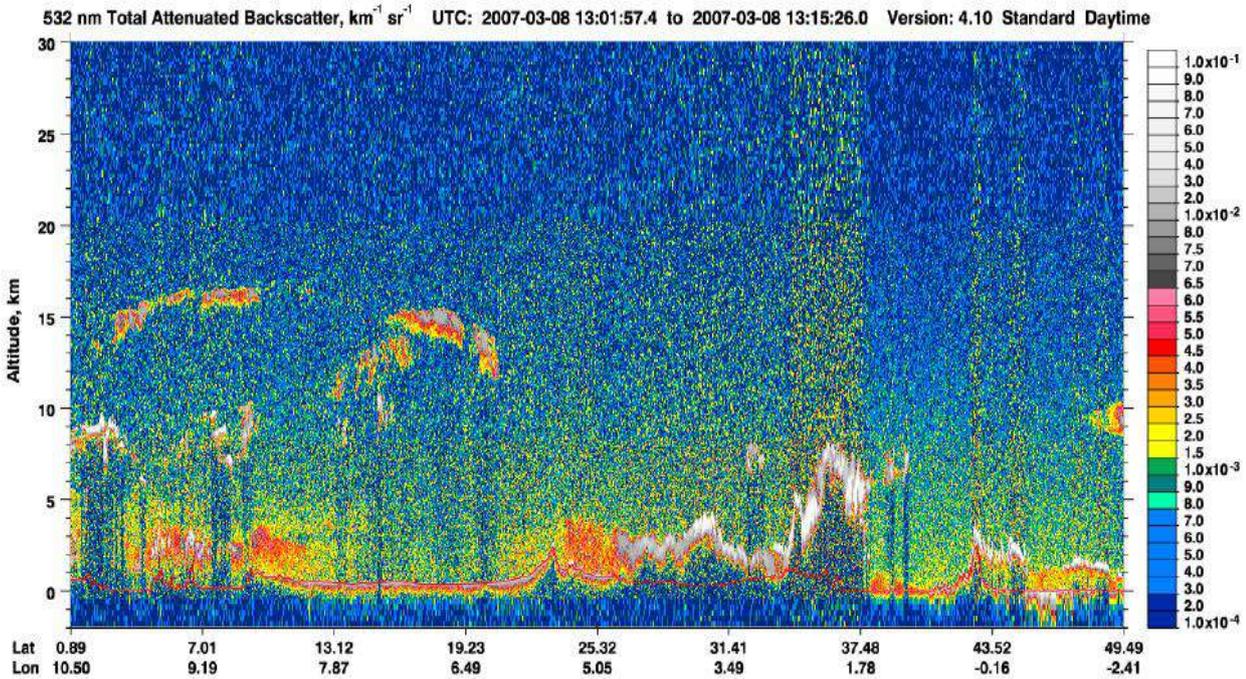
يعمل جهاز الليدار في ثلاثة أمواج حيث يستقبل التلسكوب إشارة التشتت الخلفي بفعل الهباء الجوي والسحب في كل من الموجة 532 نانومتر عمودية- الموجة 532 نانومتر موازي و كذا الموجة 1064 نانومتر. و لمتابعة و دراسة الخصائص الضوئية و البنية الرأسية للهباء الجوي و للرصد بواسطة CALIOP نقوم بدراسة العناصر التالية :

- إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر (total attenuated backscatter).
- التشتت الخلفي العمودي الموهن للموجة 532 نانومتر (perpendicular attenuated backscatter).
- نسبة إزالة الاستقطاب 532 نانومتر (depolarisation ratio 532 nm).

- التشتت الخلفي الموهن للموجة 1064 نانومتر (attenuated backscatter 1064) (nm).
 - نسبة اللون الموهن (attenuated color ratio).
 - أقنعة المميزات العمودية (Vertical feature masks).
- IV-2-4-1- إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر:

$$\beta'_{532, Total}(z) = [\beta_{\parallel}(z) + \beta_{\perp}(z)] T_{532}^2(z)$$

يمثل الشكل (IV-13) إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر و هو عبارة عن مجموع إشارة التشتت الخلفي العمودي و الموازي للموجة 532 نانومتر. تم ترميز قوة الإشارة باللون بحيث يتوافق اللون الأزرق مع التشتت الجزيئي والتشتت بواسطة الهباء الجوي الرفيع، كما يظهر الهباء بشكل عام عادة باللون الأصفر / الأحمر / البرتقالي. أقوى إشارات تواجد الغطاء السحابي يتم رسمه باللون الرمادي، في حين أن أضعف إشارات الغطاء السحابي تكون مماثلة في قوتها لإشارة الهباء الجوي و تشفر باللون الأصفر والأحمر.



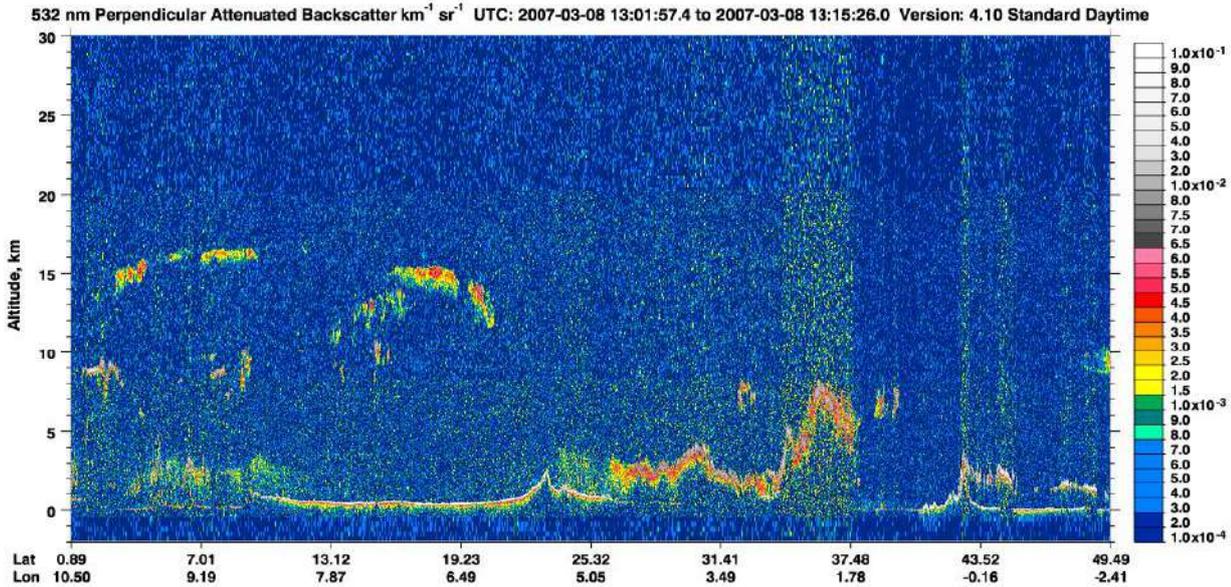
الشكل (IV-13) : إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر.

من خلال الصورة نلاحظ طبقة من الهباء الصحراوي القريبة من السطح باللون الأحمر والأصفر في المناطق الواقعة حول 25 درجة شمالا و 5 درجة شرقا. حيث يبلغ معامل التشتت الكلي الى 5.5 /كلم.ستراديون. كما تظهر طبقة سميكة من الغطاء السحابي باللون الرمادي في المناطق المحصورة بين 27 درجة شمالا و 06 درجة شرقا حتى المواقع الموجودة في 37 درجة شمالا و 02 درجة شرقا.

IV-2-4-2-التشتت الخلفي العمودي الموهن للموجة 532 نانومتر :

$$\beta'_{532,\perp}(z) = \beta_{\perp}(z) T_{532}^2(z)$$

يمثل الشكل (IV-14) التشتت الخلفي العمودي الموهن للموجة 532 نانومتر. وتستعمل نفس الألوان المستعملة في إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر. هذه الصورة مفيدة لتمييز الفرق بين الجسيمات الكروية وغير كروية الشكل. الجزيئات الغير كروية الشكل (مثل الغبار ، بلورات الجليد) تغير حالة الاستقطاب في التشتت الخلفي، خلافا للجسيمات الكروية مثل قطرات الماء أو الهباء الجوي الكروي. الواضح من خلال الشكل و في الموقع المشار إليه في الأعلى تأكيد على وجود طبقة من الغبار الصحراوي متبوعة في الأعلى بطبقة من الغطاء السحابي المكون من جزيئات غير كروية الشكل بالنظر إلى التغير في حالة الاستقطاب للتشتت الخلفي.



الشكل (IV-14) : التشتت الخلفي العمودي الموهن للموجة 532 نانومتر.

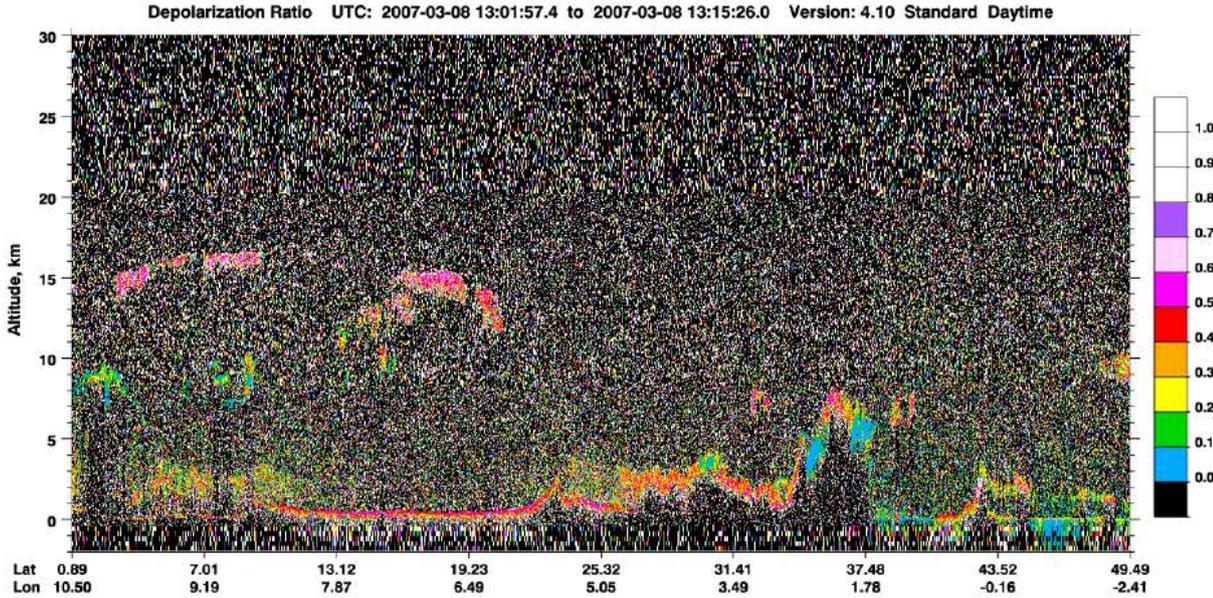
IV-2-4-2-نسبة إزالة الاستقطاب للموجة 532 نانومتر :

يمثل الشكل (IV-15) نسبة إزالة الاستقطاب للموجة 532 نانومتر وهو عبارة عن نسبة التشتت العمودي الخلفي الموهن على التشتت الموازي الموهن هذه العلاقة هي على الشكل الآتي :

$$\delta_{\nu}(z) = \frac{\beta'_{532,\perp}(z)}{\beta'_{532,\parallel}(z)}$$

هذه النسبة مفيدة في تمييز الجسيمات الكروية و غير كروية الشكل. حيث إن الجسيمات الغير كروية مثل الغبار و بلورات الجليد تغير من حالة الاستقطاب للضوء المنتشر عكس قطرات الماء التي لا تغير في حالة الاستقطاب للإشعاع الخلفي المنتشر. تكون نسبة إزالة الاستقطاب

بالنسبة للسحب الجليدية ما بين 0.25-0.40. أما بالنسبة للغبار فعادة ما يكون في نطاق 0.15. بالنسبة للسحب المائية تكون نسبة إزالة الاستقطاب بدلالة عمق الاختراق في الطبقة و مساهمة التشتت المتعدد. يبين الشكل (IV-15) تأكيدا لما سبق عن وجود الغبار الصحراوي في المناطق المشار إليها أعلاه باللون الأزرق و الأخضر في طبقة التروبوسفير بسبب الظاهرة الغبارية ليوم 2007/03/08 مواكبة مع الطبقة السحابية الملونة بالأحمر و البرتقالي أين تتعدى نسبة الاستقطاب 0.4.



الشكل (IV-15) : نسبة إزالة الاستقطاب للموجة 532 نانومتر.

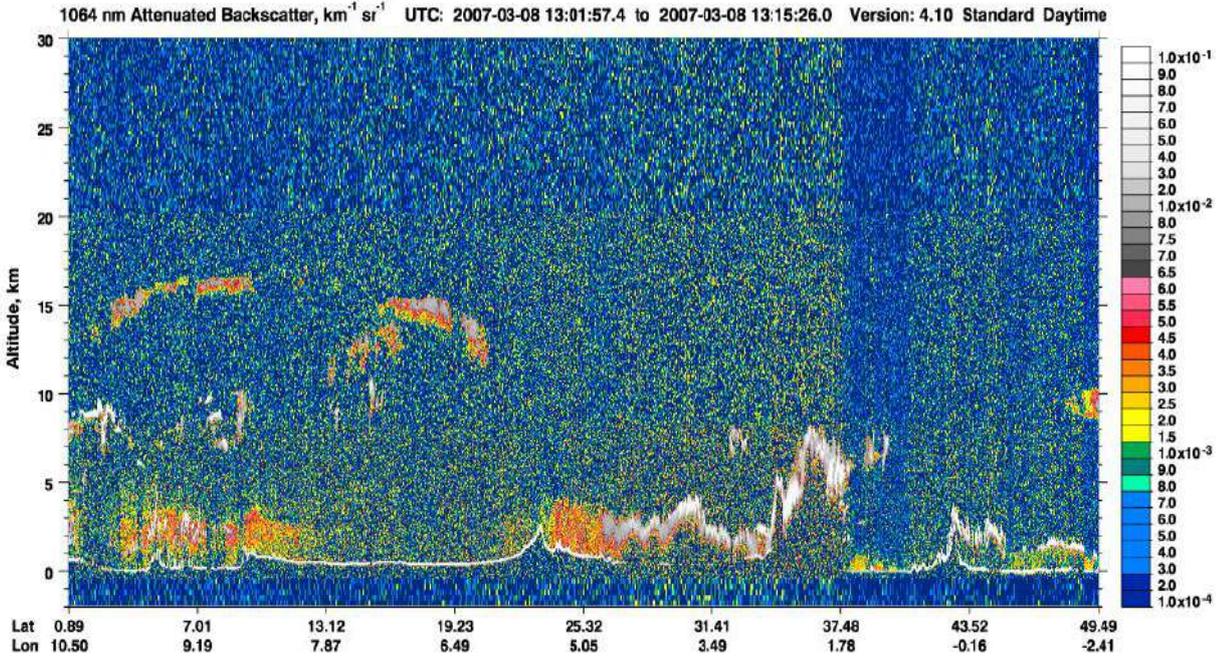
IV-2-4-4-التشتت الخلفي الموهن للموجة 1064 نانومتر :

يمثل الشكل (IV-16) التشتت الخلفي الموهن للموجة 1064 نانومتر الخاص بيوم 2007/03/08. للتذكير أن ليدار (CALIOP) لا يحتوي على كاشف للإشارة التشتت الخلفي الموازي و العمودي. معادلة التشتت الموهن للموجة 1064 نانومتر هي :

$$\beta'_{1064}(z) = \beta_{1064}(z) T^2_{1064}(z)$$

يتم استخدام نفس مقياس الألوان المستعملة سالفًا كما يستعمل معامل التشتت الخلفي الموهن للموجة 1064 نانومتر للكشف عن طبقات التشتت الباهتة و كذلك البحث في الفروقات مع التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر. كما يتيح هذا المعامل معلومات حول حجم الجسيمات .

استنادا للشكل (IV-16) نلاحظ تطابق من حيث تواجد طبقة الغبار ليوم 2007/03/08 و الغطاء السحابي مع معامل إجمالي التشتت الخلفي الموهن للموجة 532 نانومتر.



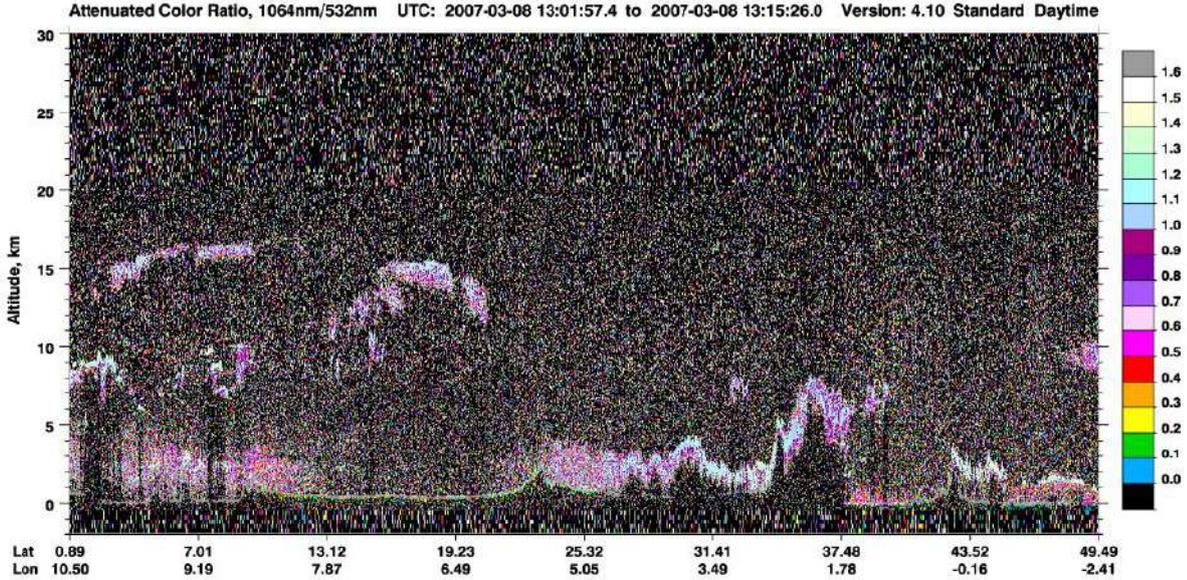
الشكل (IV-16) : التشتت الخلفي الموهن للموجة 1064 نانومتر.

IV-2-4-5-نسبة اللون الموهن (attenuated color ratio) :

تعطى معادلة نسبة اللون الموهن الشكل (IV-17) بالمعادلة الآتية :

$$\chi'(z) = \frac{B_{1064}(z)}{B_{532}(z)}$$

يعتبر هذا المعامل مهم في استنتاج معلومات في حجم الجسيمات في حجم التشتت لأن معامل التشتت الخلفي للموجة 1064 نانومتر يكون أصغر من معامل التشتت للموجة 532 نانومتر بالنسبة للجزيئات الصغيرة. تكون نسبة اللون الموهن اقل أو تساوي 1 بالنسبة لطبقة الهباء الجوي كما تكون اكبر من 1 في حالة طبقات السحب.

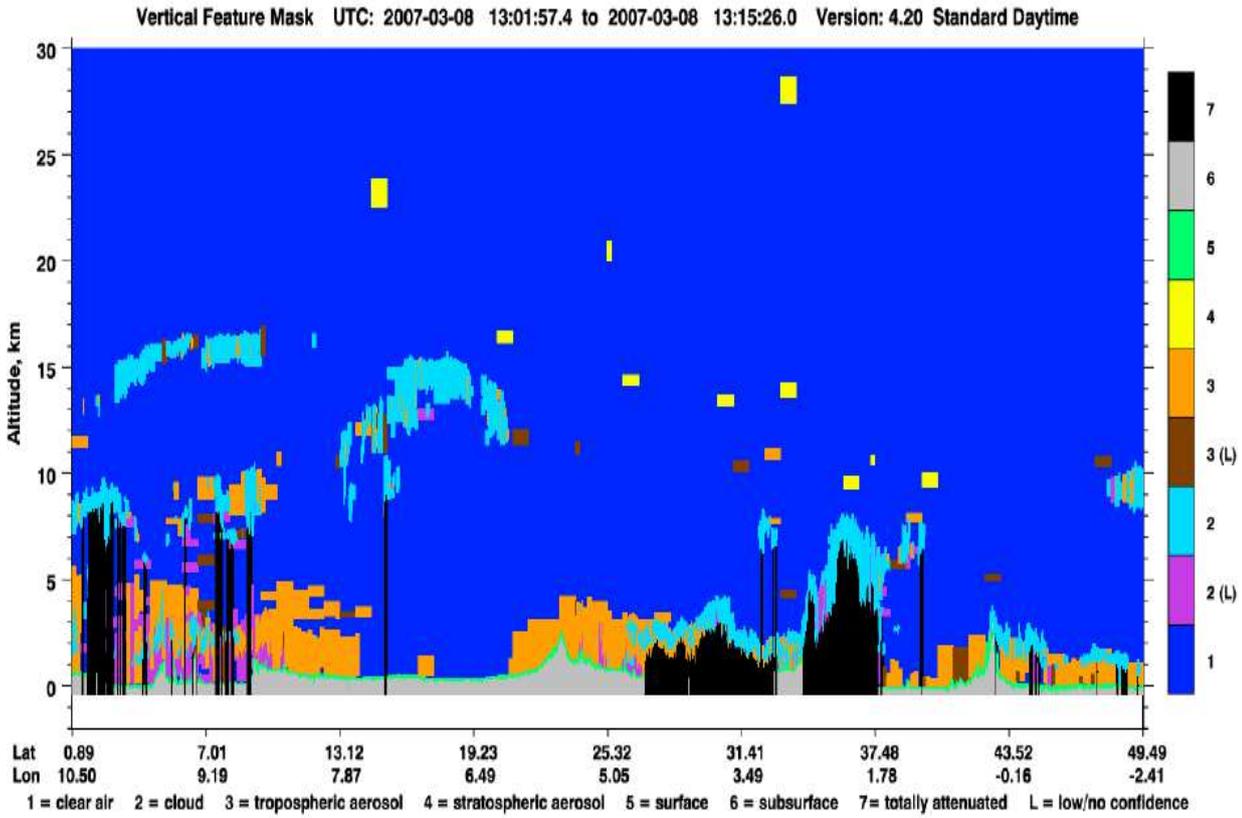


الشكل (17-IV) : نسبة اللون الموهن.

كما نلاحظ في الشكل تطابقاً مع الأشكال السابقة عن تواجد طبقة الغبار الناتج عن الحالة الغبارية ليوم 08 مارس 2007 في مواقع الدراسة حيث يكون نسبة اللون الموهن أقل من 1 تعقبها طبقة سحب في الأعلى.

IV-2-4-6- أقنعة المميزات العمودية (Vertical feature masks) :

يشير الشكل (18-IV) إلى أقنعة المميزات العمودية (Vertical feature masks) والتي تتيح معلومات على المواقع الرئيسية والأفقية للطبقات و مكونات الغلاف الجوي من طبقات الهباء والسحب و تحديد أنواعها. كما يشير الشكل (18-IV) تطابقاً مع الأشكال المذكورة أعلاه عن وجود طبقة من الهباء الصحراوي الناتج عن الحالة الغبارية ليوم 08 مارس 2007 و المشار إليها باللون البرتقالي (رقم 3) و تكون متبوعة في الأعلى بطبقة سحابية (رقم 2).



الشكل (18-IV) : أقنعة المميزات العمودية.

الخلاصة العامة

يعتبر الهباء الصحراوي حدث مهم في المناطق الصحراوية، وهي ظاهرة تتسبب في العديد من المشاكل الاقتصادية كشل حركة النقل البري والجوي ومشاكل اجتماعية كالأضرار الجلدية والتنفسية وأمراض العيون.

من بين وسائل دراسة الاستشعار عن بعد هو الهباء الصحراوي عن طريق الأجهزة السطحية مثل شبكة Aeronet والأجهزة عن طريق الأقمار الصناعية مثل جهاز Seviri لكن وسائل الاستشعار عن بعد ليست دقيقة لذلك استعملنا جهاز lidar وهو جهاز دقيق جدا يسمح لنا بمعرفة نوعية الحالة الغبارية ومكوناتها وانتشارها الرئيسي. قمنا بدراسة حالة غبارية ليوم 08 مارس 2007 والتي شملت معظم أنحاء الصحراء الجزائرية، ولقد اعتمدنا في دراستنا على شبكة الرصد السطحي، والمتابعة بالنماذج العددية: DREAM و NAAPS، والاستشعار بواسطة lidar (الخصائص الضوئية) لمتابعة هذه الظاهرة.

وقد بينت الدراسة ما يلي :

تعمل النماذج العددية DREAM و NAAPS على تحديد الضغط الجوي على مستوى سطح البحر، السمك الضوئي وتراكيز الغبار حيث تنتج العواصف الغبارية والترابية في المناطق الصحراوية لتواجد منطقة الضغط المرتفع شمال شرق المحيط الأطلسي ومنطقة الضغط المنخفض على الأراضي التونسية وغرب ليبيا. حيث يؤدي التقارب بين مناطق الضغط إلى زيادة سرعة الرياح السطحية مما يترتب عليه إثارة الغبار.

الترابط العكسي بين سرعة الرياح والرؤية الأفقية حيث كلما زادت السرعة قلت الرؤية الأفقية وهذا كان واضحا في الفترة الممتدة ما بين [12:00 ساعة و 15:00 ساعة] و أكثر نشاط للرياح يكون في فترة النهار ما بين 12:00 وتقل أو تنعدم ليلا .

وأخيرا، وكما تطرقنا إليه في مذكرتنا لمختلف التعاريف التي تخص الهباء الصحراوي، نجد أن مختلف الظواهر يمكن قياسها من خلال خبرة وكفاءة مراقبي الأرصاد الجوية. وذلك باستعمال وسائل التنبؤ والاستشعار عن بعد. كما نوصي بدراسة سرعة الرياح والرؤية وتحليلها سينوبتيكيا لفهم كيفية إنشائها.

كما استخلصنا من هذه الدراسة أن الرصد بواسطة الليدار يتيح لنا التصوير الدقيق لمكونات الغلاف الجوي من هباء و غطاء سحابي و مكان تواجده و التمييز بين خصائصه و هذا من خلال الاعتماد على الخصائص الفيزيائية والضوئية. كما استخلصنا أن لليدار عيوب من بينها نسبة التغطية المكانية و الزمانية المحدودة مما يستدعي الاعتماد على مستشعرات أخرى لمتابعة الظواهر الغبارية.

قائمة المراجع

- [1] mokhtari mohammed, "Amélioration de la prise en compte des aérosols terrigènes dans les modèles atmosphériques à moyenne échelle.", toulouz, 2012.
- [2] Bouzid Majda,Haddad Nada, "étud d'un intense événement de poussière au nord de l'afrique. Inter-comparaison enter l'indice de poussière IDDI et les données de vent ré-analysées Era-Interim (ECMWF)", university kasdi merbah ouargla, 2019.
- [3] رابحي شهرزاد, "تحديد جزيئات وملوثات الهباء الجوي في المناطق القاحلة", جامعة قاصدي مرباح ورقلة, 2017.
- [4] aya achraf, "almrsal.com", 2020.
- [5] abderrahim hamza, "apport du sondeur à laser (lidar) dans l'étude de la pollution par les aérosols", université d'oran, 15fevrier2012.
- [6] David Daou, "Caractérisation des aérosols par inversion des données combinées des photomètres solaires et lidars au sol.", Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Université de Sherbrooke, 2012.
- [7] theodore l.anderson,robert j.charlson,david s.covert, "Calibration of a counterflow virtual impactor at aerodynamic diameters from 1 to 15 µm. Aerosol Sci. Technol." 12novembre1992.
- [8] Schütz lothar, , *mass and volume distributions of mineral aerosol and soils of the Sahara*. 1february1983.
- [9] طمل عبد الرزاق,أسامة سويقات,فقيه عبد العالي, "الزوابع الرملية والترابية في الجزائر: الخصائص,المصادر والتوزيع.", قاصدي مرباح ورقلة, 2019.
- [10] Taylor a taylor, "Environ Health Perspect." 1february2002.
- [11] legrand a plana, "Satellite detection of dust using the IR imagery of Meteosat", 27august2001.
- [12] Nadjib TALBI,Belkhir HEBBAL, "Etude spatio-temporelle des événements de poussière et de sable sur le Sud Algérien. Validation avec l'indice de poussière IDDI.", Université KASDI Merbah d'Ouargla, 29Mai2017.
- [13] المركز الوطني للأرصاد الجوية والزلازل, مصادر الغبار المؤثرة على دولة الإمارات العربية المتحدة. 2011.
- [14] amrane afaf,hamdi safa, "Simulation numérique du cycle de vie d'une tempête de sable et de poussière", Université KASDI Merbah d'Ouargla, 2017.
- [15] Diana Bou Karam, "Mécanismes de soulèvement d ' aérosols en afrique de ouest", 2010.
- [16] mahowald natalie, "Dust sources and deposition during the last glacial maximum and current climate: A comparison of model results with paleodata from ice cores and marine sediments", juillet1999.
- [17] andrew goudie,middleton nicholas, "Desert dust in the global system", 2006.

- [18] benaouda douaiba, "Simulation des émissions d'aérosols désertiques à l'échelle Régionale : Analyse climatologique des émissions du Nord de l'Afrique", university of sciences and technology on oran, 2015.
- [19] amrane afaf, hamdi safa, "Simulation numérique du cycle de vie d'une tempête de sable et de poussière.", university kasdi merbah ouargla, 30may2017.
- [20] jasper F.kok, eric J.R. parteli, timothy I. michaels, diana bou karam, "the physique of wind-blown sand and dust", 2012، أكتوبر.
- [21] jasper kok, eric parteli, timothy i michaels, diana francis, "The physics of wind-blown sand and dust", september2012.
- [22] wiley john, "Review of the North African climate with particular emphasis on the production of eolian dust in the Sahel zone and in the Sahara, in Saharan dust", 1979.
- [23] abedelali fekih, nadjib talbi, bahri sadaoui, "Etude spatiotemporelle des événements de sable sur la région sud-est: Méthode de suivi et de prévision", Ouargla, 2007.
- [24] عبد العزيز طريح شرف, *الجغرافيا المناخية والنباتية مع التطبيق على مناخ أفريقيا ومناخ العالم العربي*. 2000.
- [25] حمدي مريم, عباس بلقيس. "الأنماط السينو-بتيكية المولدة للعواصف الغبارية والرملية فوق الصحراء الجزائرية", *قاصدي مرباح ورقلة*, 2020.
- [26] فاطمة عبد الرافع, عبد الفتاح محمد أحمد, "جيومورفولوجية الكثبان الرملية وخطورها بمنخفض الخارجة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد", رسالة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في الجغرافيا من قسم الجغرافيا, جامعة الأزهر -كلية الدراسات الإنسانية- فرع البنات, 2016.
- [27] أ. خالد الشحام, أ. سليم حمام, *المناخ والطقس والرصد الجوي*. المدرسة العربية, 2004.
- [28] سلمى المصري, "أنواع المنخفضات الجوية وتصنيفها", *الموسوعة العربية الشاملة*. 2022.
- [29] BOUZID MADJDA, HADDAD NADA, "étude d'un intense événement de poussière au nord de l'Afrique. Inter-comparaison entre l'indice de poussière IDDI et les données de vente ré-analysées Era-Interim (ECMWF)", KASDI MERBAH, OURGLA, 2019.
- [30] Mohamed Laid BELALEM, "Estimation de la réflectance spectral et NDVI par le satellite MSG (Météosat Seconde Génération)", KASDI MERBAH, OURGLA.
- [31] ك. ب. قزون شيماء, "دراسة التأثيرات الأفقية المختلفة على تقدير معامل الانعكاس ثنائي الاتجاه باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد", *جامعة حمة لخضر, الوادي*, 2020.
- [32] Nakes M.T, M. Legrand, P. François & A. Mokhnache, "Télé-détection de laérosol désertique de poussière IDDI", KASDI MERBAH, OURGLA, 2013.
- [33] David M. Winkera, , Jacques Pelonb, و M Patrick McCormick, "The CALIPSO mission: Spaceborne lidar for observation of aerosols and clouds", Université Pierre et Marie Curie, 4 Place Jussieu, Paris, France c Hampton University, Hampton, VA, NASA Langley Research Center, 2003.
- [34] م. عبد الله عبد الجليل الجبري, "المختصر المفيد في هندسة الاتصالات", 2017.
- [35] أ. د. عاطف معتمد عبد الحميد, "أسس الاستشعار عن بعد . قسم الجغرافيا- كلية الآداب", *قسم الجغرافيا- كلية الآداب جامعة القاهرة*, 2008.

- [36] E. Marchal O Rostom, "INTRODUCTION A L'UTILISATION DES SYSTEMES SONAR DANS L'ESTIMATION DE LA BIOHASSE EN POISSONS", Paris France, 1982.
- [37] Roy Edgar Hansen, "Introduction to sonar", University of Oslo, 23 September 2013.
- [38] بحوث وتكنولوجيا الغلاف الجوي", 2002
- [39] أسامة طمل, عبد الرزاق سويقات, "الزوابع الرملية والترابية في الجزائر: الخصائص، المصادر والتوزيع", KASDI MERBAH, OURGLA, 2019.
- [40] أ.د. عبد الملك قسم السيد محمد, "خصائص الرؤية الأفقية لمدينة الرياض المملكة العربية السعودية", عدد العدد 6
- [41] حمدي مريم, عباس بلقيس, "الأنماط السينوبتيكية المولدة للعواصف الغبارية والرملية فوق الصحراء الجزائرية", قاصدي مرباح, ورقلة
- [42] "https://www.degreane-horizon.com/content/uploads/sites/75/2020/03/T31033C-DF320-FR.pdf".
- [43] Diana Bou Karam, "Mécanismes de soulèvement d'aérosols désertique en Afrique de l'Ouest", Université Pierre et Marie Curie, Paris, 2010.
- [44] "https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php".
- [45] "https://www.eumetsat.int/seviri le18/05/2022 à 15h00".
- [46] NASA SCIENCE MISSION DIRECTORATE, "CALIPSO CloudSat GRACE", National Aeronautics and space Administration, 2005.
- [47] Belkhir HEBBAL, Nadjib TALBI, "Etude spatio-temporelle des événements de poussière et de sable sur le sud Algérien. Validation avec l'indice de poussière IDDI", KASDI MERBAH, OURGLA, 2017.
- [48] جامعة, " (lidar) بن ساسي جويده, عبايدي نادية, "تشخيص طبقة التروبوسفير باستخدام تقنية الليدار", قاصدي ورقلة, 2018
- [49] H. Slimane, "Automation of Earth Surface Extracting From Aerial LIDAR", université de damas syrie, 2015.
- [50] فرحاتي وسام, بوهريرة مسعودة, "الكشف عن بعض الغازات المسببة للاحتباس الحراري بواسطة تقنية LIDAR", جامعة قاصدي مرباح ورقلة, 2019
- [51] "NEW Case Study on Differential Absorption LiDAR for NASA Ozone Mapping – Wavelength Electronics", <https://www.teamwavelength.com/download/applicationtechnotes/cs-ldtc06.pdf>.
- [52] "Doppler LiDAR System for Advanced Weather Monitoring", <https://www.findlight.net/blog/2019/11/24/doppler-lidar/>.
- [53] "Les aérosols atmosphériques observés par lidar et ses synergies instrumentales", https://www.umr-cnrm.fr/ecole_lidar/IMG/pdf/Cuesta-Aerosols_QualiteAir.pdf.
- [54] خليفة عبد القادر, "تحولات البنى الاجتماعية وعلاقتها بالمجال العمراني في مدن الصحراء الجزائرية. دراسة سوسيو- أنثروبولوجية لمدينة تقرت (وادي ريغ)", جامعة محمد خيضر-بسكرة, 2011
- [55] شراد دليلة, بكيرات أم الخير, "التحليل الجوي والجغرافي لدرجة الحرارة في الجنوب الشرقي (ورقلة)", جامعة قاصدي مرباح ورقلة, 2017

[56] "https://www.univ-ghardaia.dz/%D8%AA%D8%B9%D8%B1%D9%8A%D9%81-%D9%88%D9%84%D8%A7%D9%8A%D8%A9-%D8%BA%D8%B1%D8%AF%D8%A7%D9%8A%D8%A9".

ملخص:

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة الخصائص الفيزيائية والبصرية للهباء الصحراوي بواسطة تقنية ليدار على بعض المناطق الصحراوية من الجنوب الجزائري.

اعتمدنا في دراستنا على الوضعية السينوبتيكية ليوم 08 مارس 2007 لخمس مناطق من الجنوب الجزائري باستعمال خرائط الضغط السطحي والرياح والارتفاع الجهدي ، الوضعية السطحية في موقع الدراسة باستعمال الرياح والرؤية، بالإضافة إلى النماذج العددية للطقس و المتابعة بواسطة ليدار كاليوب. وفي الأخير قارنا النتائج المتحصل عليها من خلال الخرائط السينوبتيكية مع نتائج الملاحظة ووجدنا شبه تطابق، أي أن ارتفاع شدة الرياح يؤدي إلى انخفاض الرؤية وبالتالي الزيادة في تراكيز الغبار.

الكلمات المفتاحية: الهباء الصحراوي، الاستشعار عن بعد، ليدار، السمك الضوئي.

Résumé :

L'objectif principal de ce travail est étude les caractéristiques physiques et optiques des aérosols désertiques par technique lidar sur certaines zones désertiques du sud de l'Algérie.

Dans notre étude, nous sommes appuyés sur la position synoptique du 8 mars 2007 pour cinq régions du sud de l'Algérie en utilisant des cartes de pression de surface et le vent et Geopotential, la position de surface sur le site d'étude en utilisant le vent et la visibilité, ainsi que des modèles météorologiques numériques et le suivi par Lidar CALIOP. Dans ce dernier cas, nous avons comparé les résultats obtenus grâce aux cartes synoptiques avec les résultats d'observation et avons trouvé une correspondance proche, c'est-à-dire qu'une intensité de vent plus élevée entraîne une visibilité plus faible et donc une augmentation des concentrations de poussières.

Mots clés : Aérosols désertiques, Télédétection, Lidar, épaisseur optique.

Summary :

The main objective of this work is to study the physical and optical characteristics of .desert aerosols by lidar technique on certain desert areas of southern Algeria.

In our study, we are based on the synoptic position of March 8, 2007 for five regions of southern Algeria using surface pressure and wind and Geopotential maps, the surface position on the study site using wind and visibility, as well as numerical weather models and tracking by Lidar CALIOP. In the latter case, we compared the results obtained from the synoptic maps with the observation results and found a close match, i.e. a higher wind intensity leads to lower visibility and therefore an increase in dust concentrations

Key words : Desert aerosols, Remote sensing, Lidar, optical thickness.