

جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية علوم الدقيقة و علوم طبيعة و حياة  
قسم علوم المادة



# مذكرة ماستر

ثانية ماستر  
فيزياء مواد  
فيزياء طاقتوية وطاقات المتجددة و فيزياء المادة المكثفة

رقم: 13

إعداد الطالب:  
حملاوي محمد إسلام و عبد الحق جرادي  
يوم: 27/06/2021

## النمذجة الرياضية والمحاكاة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

### لجنة المناقشة:

استاذ مشرف	جامعة محمد خيضر بسكرة	أستاذ محاضر	محمدي فرحات
استاذ رئيس	جامعة محمد خيضر بسكرة	استاذ مساعد	بن صالح نجوى
استاذ ممتحن	جامعة محمد خيضر بسكرة	استاذ مساعد	منصر منصور

# اهداء

أهدي هذا العمل المتواضع

إلى والدينا العزيزين. حفظهما الله بحفظه وعينه التي لا تنام

واهم شيء في الحياة ان تكون صبورا راضيا بقضاء الله وقدره ومؤمنا بقضاء الله وقدره وان

تضحى في حياتك حتى تبقى صامدا وهذا أعظم شيء يصل الانسان اليه

ونفتخر بوالدينا اللذان ساعدانا على المضي قدماً في الحياة فاللهم احفظه لي يا رب العالمين

ونرجو من الله أن يعطيها خيرا الجزاء على ما فعله من أجلنا، لأن الأعمال العظيمة لا

تأتي إلا من الوالدين

أمي التي عملت من أجل نجاحي بجهد ودعمها ودعوتها لي في كل شيء

التضحيات ونصائحهم الغالية ليكونا عوناً لي في حياتي

ومن مشاعرنا الخالدة وامتنانا

إلى كل أصدقائنا الأعزاء على كل الأوقات الجميلة التي قضيناها مع بعض

# شكر وعرفان

نبدى، كل الشكر لله القدير على القوة التي منحنا اياها والاستعداد لإكمال هذا العمل.

نود أن نشكر مشرفي الأستاذ "محمدي فرحات" الأستاذ المشرف

مساعد (أ.د) في جامعة بسكرة على التوجيه

المساعدة والمتابعة خلال هذه الدراسة.

والشكر الكبيرة للجنة التحكيم المتمثلة في الاستاذة القديرة "بن صالح نجوى"

والاستاذة القدير "منصر منصور"

كما شكر جميع الأساتذة الذين درست عندهم

والشكر العظيم وزملائنا في قسم الفيزياء وأتمنى لكم السلامة من الوباء، حفظكم

الله جميعاً

# فهرس المحتويات

فهرس المحتويات

1	مقدمة
3	الفصل الأول: النموذج المناخي
4	1-1- عرض تقديمي
4	1-1-1 ما هو المناخ؟
4	1-1-2 ما هو نموذج المناخ؟
5	1-1-3 التطور التاريخي لنماذج المناخ
9	1-1-4 أنواع النماذج :
11	2-1- مكونات النظام المناخي
12	1-2-1 الغلاف الجوي (Atmosphère):
12	2-2-1 الغلاف المائي (Hydrosphere):
13	3-2-1 الغلاف الجليدي Cryosphere :
14	4-2-1 مساحة الأرض (Land Surface) :
14	5-2-1 المحيط الحيوي:
16	3-1- تسلسل النماذج:
16	1-3-1 نماذج توازن الطاقة:
17	2-3-1 نماذج التعقيد المتوسط :
17	3-3-1 نماذج الدوران العامة:
19	4-1- اختبار صلاحية النماذج :
19	1-4-1 التحقق والتحقق والاختبار :
22	2-4-1 تقييم أداء النموذج :
24	5-1- الحساسية المناخية وردود الفعل :
24	6-1- التقييم الإشعاعي العالمي للنظام المناخي :
25	7-1- بعض الأمثلة الحالية للنمذجة المناخية :
25	1-7-1 محاكاة القرن العشرين لتحديد الصلة بين زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والتغيرات في درجات الحرارة :
26	2-7-1 انخفاض الغطاء الجليدي البحري في القطب الشمالي منذ حوالي عام 1960 :
27	3-7-1 درجات الحرارة الصيفية في أوروبا قرب نهاية القرن الحادي والعشرين :
29	4-7-1 انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المصرح بها لمسارات التركيز في الغلاف الجوي المحددة :
30	5-7-1- التنبؤ بظاهرة النينو الضعيفة لعام 2003/2002
31	الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية
32	1-II النمذجة :
32	2-II النمذجة الرياضية للمناخ و البيئة الصحراوية :
32	1-2-II- تلوث غلاف الجوي :
33	1-1-2-II مقاييس التشتت المختلفة :

33	.....II-2-1-2 النماذج الرياضية :
34	.....II-2-1-3 معادلات التآمل والانتشار والتفاعل :
35	.....II-2-1-3-ا شروط الحدودية :
36	.....II-2-1-3-ب تصنيف العمليات
37	.....II-2-2- التلوث في التربة
38	.....II-2-2-أ معادلة الحمل الحراري
38	.....II-2-2-ب آثار شروط الحدود :
40	.....II-2-3- التلوث المائي :
42	.....II-3- الضواهر المؤثر على مناخ الصحراوي :
42	.....II-3-1 الرياح :
46	.....II-2-3-2 الغبار الجوى
49	.....II-2-3-1 ديناميات الهباء الجوى :
50	.....II-2-3-2 2 الديناميكيات والحركية :
52	.....الفصل الثالث: محاكاة ومناقشة النتائج
53	.....III-1- المحاكاة بالـ matlab :
53	.....III-2- المناخ والبيئة ولغة البرمجة :
53	.....III-1-2- التلوث الجوى :
55	.....III-2-2- الرياح :
58	.....III-2-3- الغبار :
63	.....III-3- بعض نتائج المحاكاة :
66	.....III-4- فوائد الغبار :
66	.....III-6- تأثير الرياح والغبار على الزراعة الصحراوية :
68	.....III-7- آثار الرمل والغبار على مناطق العمرانية :
68	.....III-8- مراقبة الغبار في كاوست :
69	.....III-9- بعض الحلول للقليل من اضرار الغبار :
70	.....خاتمة
71	.....خاتمة
72	.....قائمة المصادر والمراجع

# مقدمة

## مقدمة

تستخدم النماذج المناخية لمحاكاة تفاعلات العوامل المناخية الهامة، بما في ذلك غلاف الأرض الجوي والمحيطات والتضاريس والغلاف الجليدي. وتستخدم لأغراض متنوعة من دراسة ديناميكيات النظام المناخي إلى تقدير مناخ المستقبل. وقد تكون نماذج المناخ أيضاً نماذج نوعية (أي ليست رقمية) أو سرد وصفي للمستقبل المحتمل.

لهذه المنهجية ثلاثة أهداف رئيسية أولاً تقديم الأساس المادي والوصف الرياضي لمختلف مكونات النظام المناخي واشتقاق المعادلات التفاضلية التي تصف أهم العمليات المناخية؛ وثانياً إدخال الحلول العددية للمعادلات التفاضلية الجزئية العادية باستخدام أمثلة من النمذجة المناخية؛ وفي الأخير استخدام وتطبيق Matlab كأداة رياضية رقمية.

تجمع النماذج المناخية بين نتائج مختلف التخصصات في العلوم الطبيعية. إن فهم العمليات الديناميكية في الغلاف الجوي والمحيطات أمر بالغ الأهمية لنمذجه. تلعب ديناميكيات الموائع في الإطار المرجعي الدوار (ديناميات السوائل الجيوفيزيائية) دوراً رئيسياً. يجب حل المعادلات التفاضلية الجزئية الناتجة باستخدام مخططات حسابية: مشكلة في الرياضيات العددية. كما هو الحال في تمثيل كل نموذج للأنظمة الطبيعية، هناك عمليات لا يمكن محاكاتها لأنها غير مفهومة بشكل كافٍ أو لأنها تحدث على نطاقات زمنية أو مكانية لا يستطيع النموذج التقاطها. لذلك، تتم صياغة المعاملات، وسيتم عرض بعضها في هذه المذكرة.

وبالتالي يطرح التسائل التالي، ماهي نماذج المناخية؟ وكيف يمكن وصفها رياضياً؟ كيف يمكننا محاكاة وصفها الرياضي باستعمال برنامج الماتلاب؟

نستعمل في هذا الموضوع طريقتين للوصف وهما النمذجة الرياضية وكذلك محاكاة استعمال برنامج الماتلاب، بالنسبة للطريقة الأولى فإن النمذجة الرياضية هي تطبيق الرياضيات في معالجة مشاكل واقعية في الحياة أو مشاكل في الرياضيات نفسها أو مشاكل في علوم أخرى، وذلك عن طريق تحويل المشكلة الحياتية إلى مسألة رياضية ثم التعامل مع هذه المسألة وحلها، واختيار أفضل الحلول والذي يتناسب مع طبيعة المشكلة التي نعالجها ومن ثم التعميم والتتبؤ إن أمكن ذلك، أما عن الطريقة الثانية المحاكاة باستخدام الحاسوب، حيث يتم كتابه برنامج للشيء المراد فحصه يوافق مواصفاته في الواقع، ثم يوضع هذا البرنامج ضمن ظروف برمجية مشابهة للواقع، وفي النهاية ينظر إلى النتائج. وتستخدم المحاكاة لتجربة أمور نظرية من الصعب تطبيقها في الواقع. من أشهر برمجيات المحاكاة الماتلابالذي سنقوم في موضوعنا هذا استخدامه.

بالنسبة لمذكرتنا هذه فسنقدم طرحنا فيها الى ثلاثة فصول متسلسلة تكون كالتالي :

الفصل الاول : يكون بعنوان النموذج المناخ ، حيث سنتطرق اولاً في طرح تقديمي الى مفهوم المناخ و نموذج المناخ وكذلك التطور التاريخي لهذا الأخير ، ثم نعرض على انواعه النماذج المناخية ،ومن ثم نتطرق بالتفصيل الى ذكر مكونات هذا النظام المناخي (الغلاف الجوي، الغلاف الجليدي ، الغلاف المائي ، المساحة الارض ، محيط الحيوي ) ، ثم نتطرق الى

تسلسل هذه النماذج ( نموذج توازن الطاقة , نماذج التعقيد المتوسط , نماذج الدوران العامة ) , ثم في عنصر الموالى نتطرق الى كيفية التحقق من هذه النماذج باتباع خطوات معينة ( التحقق و التحقق و الاختبار , تقييم اداء النموذج ) , وفي عنصر الخامس نعرض على حساسية المناخ وكذلك ردود فعل المحيطة بها , ثم في العنصر السادس نتحدث عن التقييم الإشعاعي العالمي للنظام المناخي الذي يلعب دور مهم ومحوري لتشكل المناخ , وفي آخر عنصر نذكر بعض الامثل المدروس حاليا حول النمذجة المناخية .

أما بالنسبة للفصل الثاني : والذي عرفناه بالنمذجة المناخ الصحراوي , فقد ركزنا في هذا الفصل على النمذجة بالنسبة المناخ المناطق الصحراوية فقط , حيث قمنا اولا بتعريف طريقة النمذجة الرياضية وفيما تستخدم , ثم تطرقنا في العنصر الثاني الى تطبيقات هذه الطريقة في دراسة تلوث بالسبة للمناخ والبيئة الصحراوية ( تلوث الغلاف الجوي , تلوث الغلاف المائي , وكذلك تلوث في التربة او اليابسة ) , في العنصر الثالث قمنا ايضا بتطبيق النمذجة الرياضية على اهم الضواهر المؤثر على المناخ الصحراوي ( الرياح , الغبار ) .

وفي الفصل الثالث والآخر : والذي عرفناه بالمحاكاة النمذجة ومناقشتها .

# الفصل الأول: النموذج المناخي

### I-1- عرض تقديمي

#### I-1-1 ما هو المناخ؟

المناخ هو متوسط الأحوال الجوية على المدى الطويل ، وعادة ما يتم حسابه على مدى 30 عامًا. بشكل أكثر صرامة ، فإنه يشير إلى متوسط وتغير متغيرات الأرصاد الجوية على مدى فترة تتراوح من أشهر إلى ملايين السنين. بعض متغيرات الطقس التي يتم قياسها بشكل شائع هي درجة الحرارة والرطوبة وضغط الهواء والرياح وهطول الأمطار. بمعنى أوسع ، المناخ هو حالة مكونات النظام المناخي ، والذي يشمل المحيط والجليد على الأرض. يتأثر مناخ مكان ما بخط العرض والارتفاع والارتفاع ، وكذلك المسطحات المائية القريبة وتياراتها. [1,2]

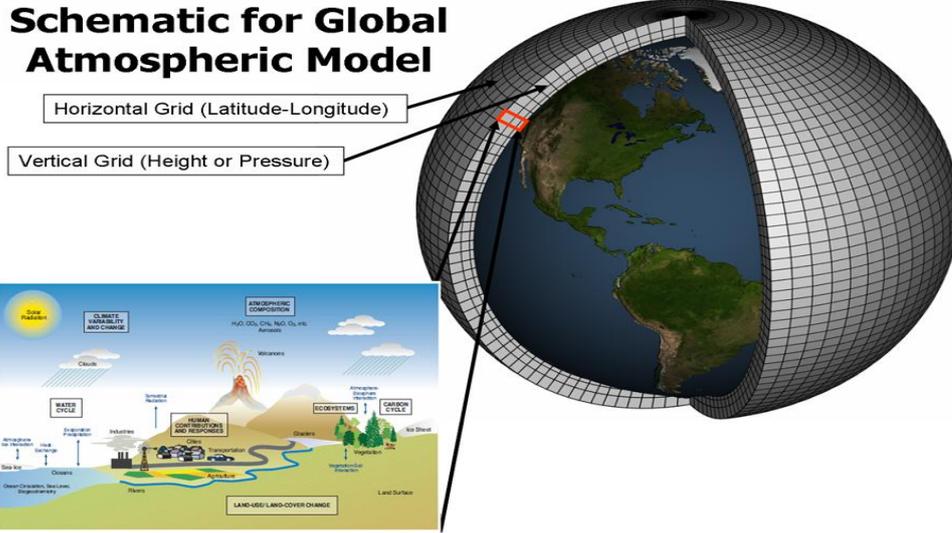
يمكن تصنيف المناخات وفقًا للمتوسط والنطاقات النموذجية للمتغيرات المختلفة ، وغالبًا ما تكون درجة الحرارة وهطول الأمطار. كان نظام التصنيف الأكثر استخدامًا هو تصنيف مناخ كوبن. يشتمل نظام Thornthwaite ، المستخدم منذ عام 1948 ، على التبخر وكذلك معلومات درجة الحرارة والتهطل ويستخدم لدراسة التنوع البيولوجي وكيف يؤثر تغير المناخ عليه [3]. تركز أنظمة التصنيف المكاني والإجمالي بيوجيون على أصل الكتل الهوائية التي تحدد مناخ المنطقة.

علم المناخ القديم هو دراسة المناخات القديمة. نظرًا لوجود عدد قليل جدًا من الملاحظات المباشرة للمناخ قبل القرن التاسع عشر ، يتم الاستدلال على المناخ القديم من المتغيرات البديلة التي تتضمن أدلة غير حيوية مثل الرواسب الموجودة في قاع البحيرات ولب الجليد ، والأدلة الحيوية مثل الحلقات والشعاب المرجانية. النماذج المناخية هي نماذج رياضية لمناخات الماضي والحاضر والمستقبل. يمكن أن يحدث تغير المناخ على نطاقات زمنية طويلة وقصيرة بسبب عوامل مختلفة ؛ الاحتباس الحراري الأخير يناقش في ظاهرة الاحتباس الحراري. يؤدي الاحتباس الحراري إلى إعادة التوزيع. على سبيل المثال ، "تغيير 3 درجات مئوية في متوسط درجة الحرارة السنوية يتوافق مع تغير في متساوي الحرارة من حوالي 300 إلى 400 كيلومتر من خط العرض (في المنطقة المعتدلة) أو ارتفاع 500 متر. لذلك ، نتوقع أن تتحرك الأنواع صعودًا على ارتفاع أو نحو أقطاب خطوط العرض استجابة لتغير المناطق المناخية ". [4.5]

#### I-1-2 ما هو نموذج المناخ؟

النماذج المناخية هي أنظمة معادلات تفاضلية تعتمد على القوانين الأساسية للفيزياء ، وحركة السوائل ، والكيمياء "لتنشغيل" نموذج ، يقوم العلماء بتقسيم الكوكب إلى شبكة ثلاثية الأبعاد ، وتطبيق المعادلات الأساسية ، وتقييم النتائج. نماذج الغلاف الجوي تحسب الرياح ، ونقل الحرارة ، والإشعاع ، والرطوبة النسبية ، وهيدرولوجيا السطح في كل شبكة وتقييم التفاعلات مع النقاط المجاورة .

أو بمعنى آخر هو نمذجة رياضية للمناخ في منطقة جغرافية معينة.



الشكل I-1: رسم تخطيطي لنموذج الغلاف الجوي العالمي. [1]

### I-1-3 التطور التاريخي لنماذج المناخ

تُشتق النماذج المناخية من النماذج التي تم تطويرها للتنبؤ بالطقس منذ عام 1940. نمذجة عمليات الغلاف الجوي والدوران هي مهد تطور النماذج المناخية. كان فيلهلم بيركنيس (1862-1951 ، الشكل I-2) أول من أدرك أن التنبؤ بالطقس كان مشكلة في الرياضيات والفيزياء. وبالتالي ، يجب صياغة معادلات الحفظ للكتلة والزخم والطاقة من أجل حساب ديناميات دوران الغلاف الجوي. يتم دمجها مع معادلة الحالة للغاز المثالي. لذلك ، يتغير الغلاف الجوي بشكل حاسم ، مما يعني أن الحالات المتتالية للنظام مرتبطة بقوانين فيزيائية. افترض بييركنيس (Bjerknes) أن المعرفة الدقيقة الكافية للقوانين الأساسية والشروط الأولية كانت ضرورية وكافية للتنبؤ. لذلك تبني فكرة لابلاس الكلاسيكية عن القدرة على التنبؤ بالطبيعة. في وقت لاحق فقط ، أصبح من الواضح ، لا سيما من خلال عمل الراحل إدوارد لورنز في عام 1963 ، أن القدرة على التنبؤ بتطور نظام غير خطي ، في هذه الحالة دوران الغلاف الجوي ، محدودة بشكل طبيعي. أسس بييركنيس (Bjerknes) "مدرسة بيرغن" للأرصاء الجوية وأنتج مساهمات رائدة في معرفة التكوّن الحلقى. [6]

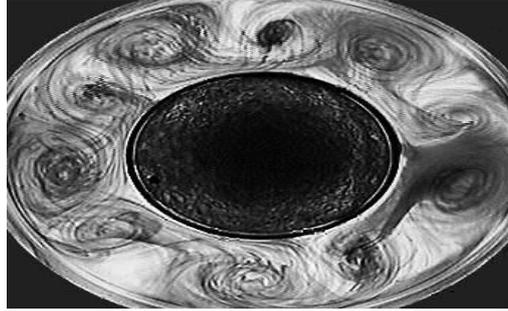


الشكل I-2: فيلهلم بييركنيس ، مؤسس الأرصاد الجوية الديناميكية.

كان لويس فراي ريتشاردسون (1881-1953) أول من صاغ تنبؤًا رقميًا بالطقس (الشكل I-3). استندت الحسابات ، التي أجراها في عام 1917 ، إلى بيانات الرصد من 12 ضغطًا رأسيًا وملفًا لدرجة الحرارة في محطات مختلفة في جميع أنحاء أوروبا ، والتي - بالمناسبة - جمعتها بييركنيس. كانت هذه البيانات بمثابة شروط أولية للحساب. حدد ريتشاردسون شبكة حوسبة بدقة  $1,8^\circ \times 3^\circ$  وخمس طبقات عمودية في جميع أنحاء أوروبا. وهي تتألف من 150 نقطة شبكية ، تم على أساسها حساب اتجاه الضغط. استخدم ريتشاردسون ما يسمى بالمعادلات البدائية: معادلات الحفاظ على الزخم الأفقي ، ومعادلة الاستمرارية (= حفظ الكتلة) ومعادلة الغاز المثالية. كان عبء العمل لحساب توقعات لمدة 24 ساعة هائلًا: استغرق الأمر ثلاثة أشهر. فقط بعد أن أصبحت أجهزة الكمبيوتر الأولى متاحة في الأربعينيات من القرن الماضي ، أصبح التنبؤ بالطقس ممكنًا وتم نشره كوسيلة تكتيكية في نهاية الحرب العالمية الثانية. كانت حسابات ريتشاردسون المبكرة بمثابة إدراك هام للقيمة المبدئية ، لكنها لم تقدم تنبؤًا موثوقًا به. أعطى التنبؤ بالتغير في ضغط السطح خلال ست ساعات قيمة 145 hPa. حتى في وسط نظام الضغط المنخفض ، لا يمكن ملاحظة هذا الانخفاض السريع في الضغط. ومع ذلك ، نشر ريتشاردسون نتيجته في الكتاب الشهير التنبؤ بالطقس بواسطة العملية العددية. كانت المشكلة أن الظروف الأولية ، في هذه الحالة بيانات ضغط السطح ، احتوت على أخطاء صغيرة تضاعفت أثناء الإجراء الرقمي وأدت إلى اتجاهات ضغط قوية. [6]



الشكل I-3: قام LF Richardson بحساب أول تنبؤ بالطقس.



الشكل I-4: موجات روسبي الواقفة في خزان دوار

(www.ocean.washington.edu/ research / gfd).

يوضح هذا أن الظروف الأولية ، أو تهيئة نماذج الطقس والمناخ ، هي قضية مركزية يجب أن يكون المصمم على دراية بها دائماً. ليس فقط الشروط الأولية ، ولكن أيضاً صياغة معادلات الحفظ أمر بالغ الأهمية. حتى البيانات الأولية الأكثر دقة كانت ستؤدي إلى عدم الاستقرار باستخدام معادلات رينشاردسون ، لأنها تحتوي على عمليات فيزيائية (موجات الجاذبية) ، والتي تزعزع استقرار الحل وتجعل التنبؤ على المدى الطويل مستحيلًا. حقق ( Carl-Gustav Rossby ) في 1898-1957 طفرة في إدراك أن الحفاظ على الدوامية كان قيداً أقوى من قيود الزخم. هذا النهج مناسب لنظام القصور الذاتي الدوار للأرض ، لأنه يمكن تنفيذ تأثير كوريوليس بطريقة طبيعية. تظهر موجات الكواكب (أمواج روسبي) في السوائل الدوارة (الشكل I-4) مثل الغلاف الجوي والمحيط. يستجيب الغلاف الجوي والمحيطات للاضطراب (الانحرافات في درجات الحرارة ، بداية تكوين المياه العميقة ، وما إلى ذلك) مع انتشار موجات روسبي التي تسبب تيارات يمكنها بعد ذلك تعديل الحالة السفلية. تعتبر موجات روسبي أساسية لفهم أنظمة الطقس في الغلاف الجوي والدوران على نطاق واسع في المحيط. [6]

في الأربعينيات والخمسينيات من القرن الماضي ، تم نشر أول جهاز كمبيوتر (ENIAC) ، التكامل الرقمي الرقمي والكمبيوتر) في برينستون للجيش الأمريكي. كان المشروع الأول هو توقع حدوث طفرة في الساحل الشرقي للولايات المتحدة. في عام 1955 ، تم تنفيذ أول تكامل طويل الأمد لنموذج دوران جوي مبسط بواسطة N. Phillips. كان هذا بمثابة بداية لنماذج الدوران العامة التي من شأنها أن تحل المعادلات الكاملة لتدفق الغلاف الجوي. إلى جانب المشكلات المعقدة عددياً ، تم تطوير دراسات نظرية حول أساسيات السلوك الديناميكي للغلاف الجوي والمحيطات. يتضمن الحفاظ على الزخم والدوامية في سائل دوار مصطلحات غير خطية في نظام المعادلات. إنها ناتجة عن تأجيل الزخم في التدفق (شروط الشكل  $u \partial u / \partial x$  ، إلخ). بالإضافة إلى ذلك ، في إطار دوار مثل الأرض ، تتسبب قوة كوريوليس في اقتران مكونات الحركات الأفقية. اللاخطية هي المسؤولة عن التنبؤ المحدود لمثل هذا التدفق كما وجد إدوارد لورنز (1926-2008 ، الشكل I-5) في عام 1963. في مقالته المرجعية التدفق غير الدوري الحتمي ، (1963 ، J. Atmospheric Sci. 20، 130) يصف كيف تؤدي نماذج التدفق واسعة النطاق إلى السلوك الفوضوي.

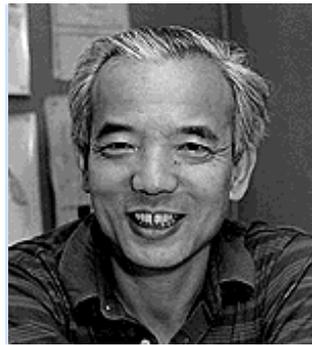
وضع هذا المقال الرائد الأساس لمجال جديد كلياً من العلوم: نظرية الفوضى. على الرغم من إمكانية حساب تطور النظام الكلاسيكي بشكل حتمي في أي وقت (عن طريق حل المعادلات التفاضلية الجزئية) ، فإن النظام يفقد قدرته على التنبؤ بعد

فترة زمنية محدودة. يمكن أن تؤدي أصغر الاختلافات في الشروط الأولية إلى حالات مختلفة تمامًا بالفعل بعد وقت قصير. لم يعد قياس الحالة النهائية بناءً على الحالات الأولية ممكنًا. يُعرف هذا الاكتشاف باسم "تأثير الفراشة". كتاب ممتاز مع العديد من الذكريات الرياضية والأمثلة هو جوهر الفوضى لإي لورنز (مطبعة U. Washington، 1996).



الشكل 5.1: إدوارد لورنز MIT (فبراير 2002)

في منتصف الستينيات ، بعد ما يقرب من 20 عامًا من تطوير النماذج الأولى للدوران في الغلاف الجوي ، تمت صياغة نماذج المحيطات ثلاثية الأبعاد (Bryan & Cox ، 1967 ، دراسة رقمية للدورة العامة للمحيطات ، Tellus 19 ، 54) . وجد Syukuro Manabe أنه بالنسبة لأبحاث المناخ ، يجب الجمع بين نماذج الغلاف الجوي والمحيطات. يتم تحقيق ذلك عن طريق اقتران المكونين ديناميكياً. تم تطوير أول نموذج مقترن في أواخر الستينيات من قبل سوكي مانابي وزملائه (Manabe & Bryan ، 1969 ، حسابات المناخ مع نموذج مشترك بين المحيط والغلاف الجوي ، J. Atm. Sci. 26 ، 786). كانت الصعوبة الخاصة هي اختلاف المقاييس الزمنية للغلاف الجوي والمحيطات. كانت هناك مشكلة سيئة السمعة تتمثل في أن الحرارة المطلوبة وتدفق المياه في الغلاف الجوي والمحيطات ، والتي تعطي مناخات متوافقة مع الملاحظات ، لم تكن متوافقة. استلزم هذا إدخال تصحيح التدفق غير المادي ، والذي تم استخدامه في معظم النماذج لما يقرب من 30 عامًا.



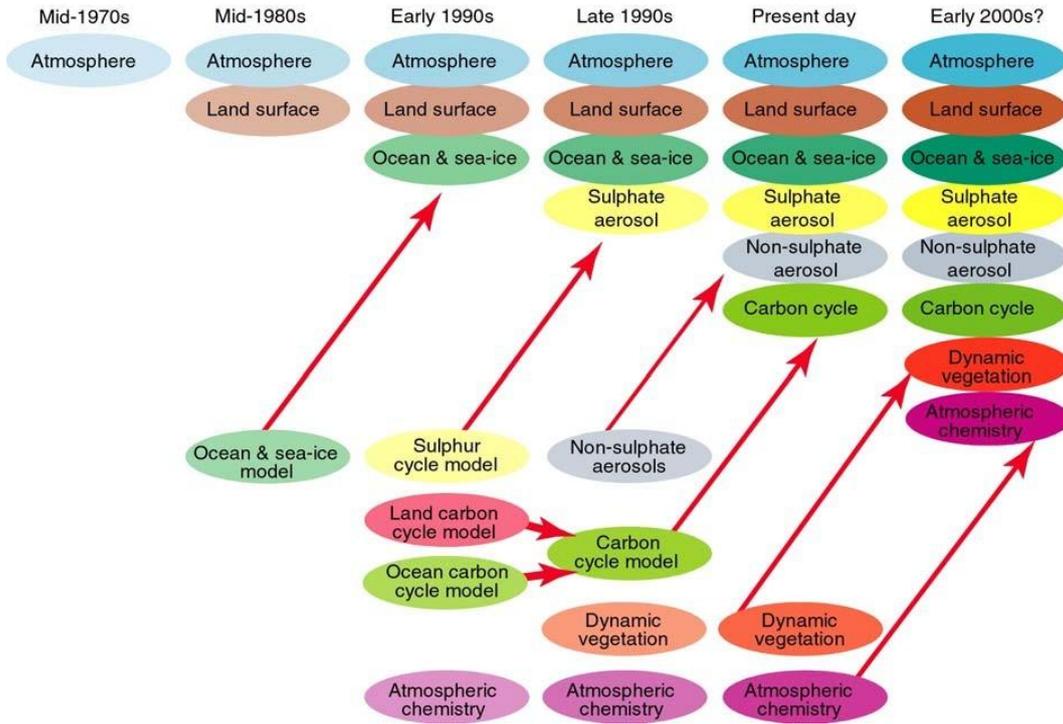
الشكل 6-1: سوكي مانابي ، رائدة النمذجة المناخية المزدوجة.

منذ أوائل التسعينيات ، تم إجراء تحسينات كبيرة من خلال إدخال مكونات أخرى للنظام المناخي (الشكل 1-7). أصبحت النماذج المناخية أكثر شمولاً. تعد دورة الكربون والتركيبات الديناميكية لأنواع النباتات وكيمياء الغلاف الجوي بعضًا من

## الفصل الأول: النموذج المناخي

العمليات التي يتم تنفيذها حاليًا في نماذج الدوران الفيزيائي الحالية. نتيجة لذلك ، أصبحت نمذجة المناخ علمًا متعدد التخصصات.

بالإضافة إلى النماذج الأكثر تفصيلاً ، يجري أيضًا تطوير نماذج مناخية مبسطة. إنها تسمح بدراسة المشكلات الأساسية لعلوم المناخ بشكل فعال. إن تطوير وتطبيق نماذج مناخية منخفضة التعقيد (يشار إليها غالبًا باسم EMICs ، نماذج نظام الأرض ذات التعقيد المتوسط) قد ساهمت بشكل كبير في فهم النظام المناخي ، لا سيما في التفسير الكمي لإعادة بناء المناخ القديم ومحاكاة المناخ. تغير المناخ في المستقبل كله.



الشكل I-7: التسلسل الزمني لتطور النموذج المناخي.

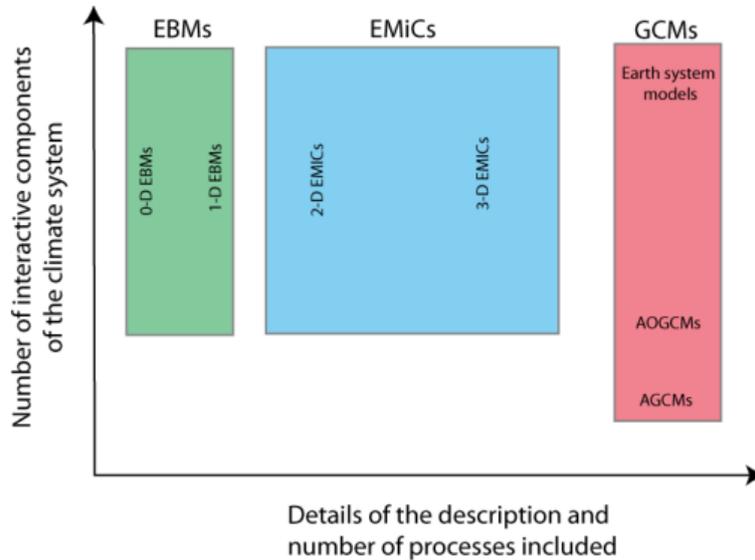
يؤدي تنفيذ مكونات جديدة (دورة الكربون والغطاء النباتي وكيمياء الغلاف الجوي) إلى زيادة التعقيد بالإضافة إلى زيادة موارد الحوسبة اللازمة. ومع ذلك ، يعد هذا تطورًا ضروريًا عندما يجب محاكاة تفاعل العمليات المختلفة من الناحية الكمية (وفقًا للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2001 ، علم تغير المناخ ، الملخص الفني).

### I-1-4 أنواع النماذج :

التبسيط أمر لا مفر منه عند تصميم نموذج مناخي لأن العمليات التي يجب النظر فيها تتراوح من مقياس السنتيمتر (على سبيل المثال للاضطرابات الجوية) إلى مقياس الأرض نفسها. تختلف المقاييس الزمنية أيضًا بشكل كبير من بضع ثوانٍ لبعض الموجات إلى مليارات السنين عند تحليل كيفية تغير المناخ منذ تكوين الأرض. لذلك ، من المهم أن يتمكن المصمم من اختيار العمليات التي يجب تضمينها بشكل صريح مقارنة بتلك التي يمكن إهمالها أو تمثيلها بطريقة مبسطة. يعتمد هذا الاختيار بالطبع على الهدف العلمي للدراسة. ومع ذلك ، فإنه يعتمد أيضًا على المشكلات الفنية لأن النماذج الأكثر

تعيّداً تتطلب الكثير من قوة الحوسبة: حتى على أكبر جهاز كمبيوتر متوفر حالياً ، لا يمكن استخدام النماذج بشكل روتيني لفترات تزيد عن بضعة قرون إلى آلاف السنين. على نطاقات زمنية أطول ، أو عند الحاجة إلى عدد كبير من التجارب ، من الضروري استخدام نماذج أبسط وأسرع. بالإضافة إلى ذلك ، غالباً ما يكون من المفيد جداً تصميم نموذج يتضمن فقط أهم الخصائص ، من أجل فهم طبيعة التغذية الراجعة أو التفاعل المعقد بين مختلف مكونات النظام بشكل متعمق. هذا أيضاً هو السبب وراء استخدام النماذج البسيطة غالباً لتحليل نتائج النماذج الأكثر تعقيداً والتي قد يتم فيها حجب الخصائص الأساسية للنظام من خلال عدد العمليات الممثلة والتفاصيل المقدمة.

يجب على مصممي النماذج أولاً تحديد المتغيرات أو العمليات التي يجب مراعاتها وأيها سيتم اعتباره ثابتاً. يوفر هذا طريقة لتصنيف النماذج بناءً على المكونات الممثلة بشكل تفاعلي. في غالبية دراسات المناخ ، يجب على الأقل تمثيل السلوك المادي للغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري. بالإضافة إلى ذلك ، يتم تضمين دورات الكربون الأرضية والبحرية والنباتات الديناميكية ومكونات الغطاء الجليدي بشكل متزايد ، مما يؤدي إلى ما يسمى بنماذج نظام الأرض.



الشكل I-8: أنواع النماذج المناخية. [7]

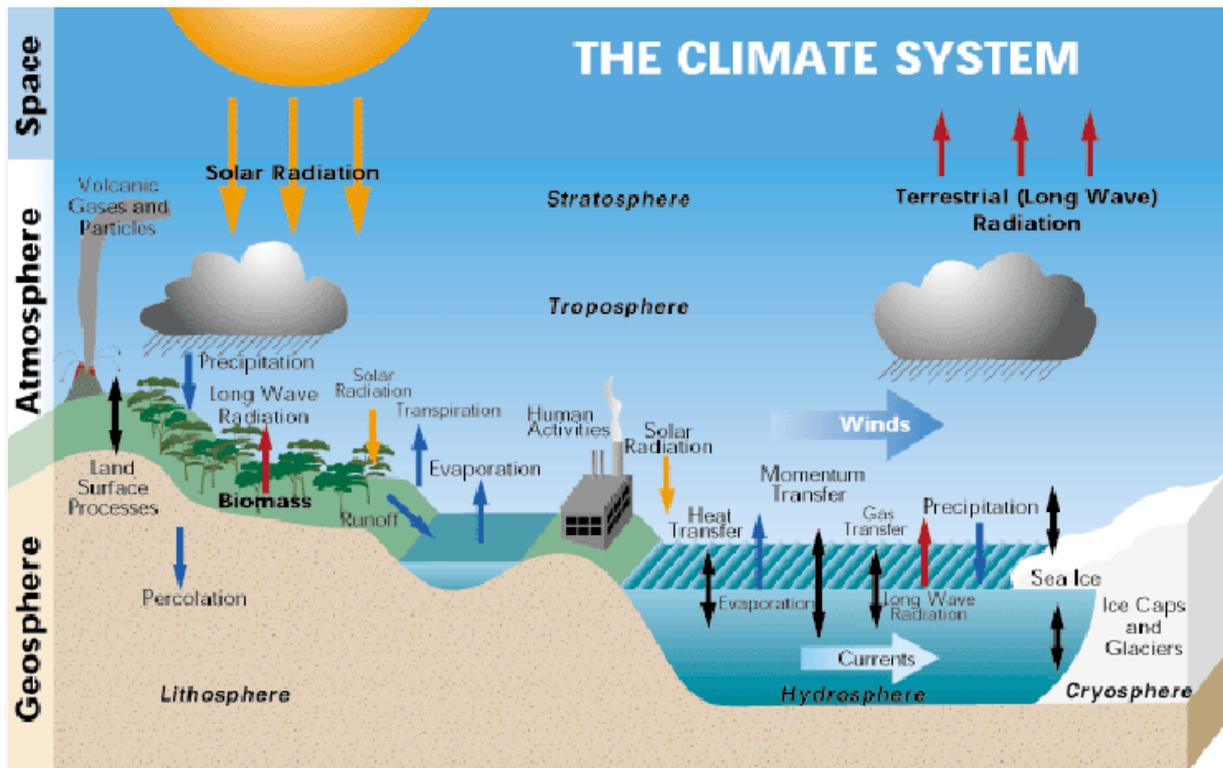
الطريقة الثانية للتمييز بين النماذج تتعلق بتعقيد العمليات المتضمنة (الشكل 8). (أ) في أحد طرفي الطيف ، تحاول نماذج التدوير العامة (GCMs) النقاط جميع الخصائص المهمة للنظام بدقة أقل تكلفة. تم تقديم مصطلح GCM لأن أحد الأغراض الأولى لهذه النماذج هو محاكاة واقعية للبنية ثلاثية الأبعاد للرياح والتيارات. تم تقسيمها تقليدياً إلى نماذج الدوران العام للغلاف الجوي (AGCM) ونماذج الدورة العامة للمحيطات (OGCM). بالنسبة لدراسات المناخ باستخدام مكونات الغلاف الجوي والمحيطات التفاعلية ، يتم عادةً اختيار المختصرات AOGCM (نموذج الدوران العام للمحيط الجوي) و ICGCM الأكبر (نموذج الدوران العام المقترن). في الطرف الآخر من الطيف ، تقدم النماذج المناخية البسيطة (مثل نماذج توازن الطاقة أو EBMs) نسخة مبسطة للغاية من ديناميكيات النظام المناخي. يتم حساب متوسط المتغيرات على

## الفصل الأول: النموذج المناخي

مناطق كبيرة ، وأحيانًا على الأرض بأكملها ، ولا يتم تمثيل العديد من العمليات أو أخذها في الاعتبار بواسطة المعلمات. وبالتالي ، تتضمن EBMs عددًا صغيرًا نسبيًا من درجات الحرية.

توجد EMICs (نماذج الأرض ذات التعقيد المتوسط) بين هذين الطرفين. وهي تستند إلى تمثيل أكثر تعقيدًا للنظام من نماذج EBM ، ولكنها تتضمن عمليات تبسيط ومعايير لبعض العمليات التي يتم أخذها في الاعتبار صراحة في نماذج GCM. في الواقع ، تشكل EMIC فئة أكبر من النماذج. بعضها قريب نسبيًا من النماذج البسيطة ، بينما يمكن اعتبار البعض الآخر نماذج الدوران العام المتدهورة قليلاً. عند استخدامها بشكل صحيح ، يمكن لجميع أنواع النماذج إنتاج معلومات مفيدة حول سلوك النظام المناخي. لا يوجد نموذج مثالي واحد مناسب لجميع الاستخدامات. هذا هو السبب في وجود مجموعة واسعة من النماذج المناخية ، والتي تشكل ما يسمى الطيف أو التسلسل الهرمي للنماذج التي سيتم وصفها في القسم 3-1 اعتمادًا على الهدف أو السؤال ، يمكن اختيار نوع النموذج. يعتمد أفضل نوع من النماذج للاستخدام على الهدف أو السؤال. من ناحية أخرى ، غالبًا ما يكون الجمع بين نتائج أنواع مختلفة من النماذج هو أفضل طريقة لاكتساب فهم عميق للعمليات السائدة في العمل. [7]

### I-2 مكونات النظام المناخي



الشكل I-9: رسم بياني مثالي للنظام المناخي (من مكتب الأرصاد الجوية ، أستراليا). [9]

يمكن تقسيم النظام المناخي إلى خمسة مكونات (الشكل I-9) يتم تقديمها أدناه. تذكر اللوحة العامة بعض العمليات المهمة كأمثلة:

### I-2-1 الغلاف الجوي (Atmosphère):

الجزء الغازي فوق سطح الأرض. الطقس ، وتوازن الإشعاع ، وتكوين السحب وهطول الأمطار ، وتدفق الغلاف الجوي ، وخران الغازات النزرة الطبيعية والبشرية ، ونقل الحرارة ، وبخار الماء ، والمواد الكاشفة ، والغبار والهباء الجوي. [8] تكوين الغلاف الجوي. الغلاف الجوي للأرض هو الغاز والجسيمات التي تحيط بكوكبنا. يتكون الهواء في الغالب من النيتروجين (78%) والأكسجين (21%) والغازات الأخرى ، بما في ذلك الأرجون وثنائي أكسيد الكربون. تلعب هذه ، المرتبطة بالجسيمات المعلقة ، دورًا أساسيًا في الحفاظ على الحياة: الامتصاص الجزئي للأشعة فوق البنفسجية أو العازلة الحرارية أو التسخين السطحي بتأثير الاحتباس الحراري. وهكذا ، تتقلب درجات الحرارة قليلاً بين النهار والليل. [9] طبقات الغلاف الجوي للأرض. يصعب تحديد حدوده لأنه لا توجد حدود مرسومة بوضوح. ومع ذلك ، فإن الغلاف الجوي للأرض يتكون من عدة طبقات: [9]

- ❖ طبقة التروبوسفير ( La troposphère ) ، موجودة على مستوى سطح الأرض حتى عشرة كيلومترات فوق مستوى سطح البحر وتركز معظم أحداث الكتلة الجوية والأرصاء الجوية.
- ❖ طبقة الستراتوسفير (La stratosphère) ، التي تشكل المستوى الأعلى ، تصل إلى 50 كم فوق مستوى سطح البحر ، وتؤدي طبقة الأوزون ، وتمتص الكثير من الإشعاع الشمسي.
- ❖ الميزوسفير (La Mésosphère) : يقع بين 50 و 80 كم فوق مستوى سطح البحر.
- ❖ الغلاف الحراري (La thermosphère) يصل ارتفاعه إلى 800 كم.
- ❖ الغلاف الخارجي (l'exosphère) ، الذي يستمر حتى 50000 كم فوق مستوى سطح البحر ، مع كثافة غاز منخفضة للغاية.

### I-2-2 الغلاف المائي (Hydrosphere):

جميع أشكال المياه فوق وتحت سطح الأرض. وهذا يشمل المحيط بأكمله ودورة المياه العالمية بعد أن يضرب هطول الأمطار سطح الأرض. التوزيع العالمي والتغيرات في التدفق الداخلي في أحواض المحيطات المختلفة ، ونقل كتل مياه المحيطات ، ونقل الحرارة وأجهزة التتبع في المحيط ، وتبادل بخار الماء والغازات الأخرى بين المحيط والغلاف الجوي ، وهو المستودع الرئيسي للكربون سريع التغير. [8] التفاعلات مع الهياكل الأرضية الأخرى ؛ نظرًا لأن الماء يحتوي على حرارة عالية محددة ، فإن الغلاف المائي هو خزان ضخم للحرارة ويؤثر القصور الذاتي الحراري والتيارات على مناخات ورياح الأرض. نحن ندرك ذلك من خلال تذكر أن مونتريال تقع إلى حد كبير على خط عرض بورديو ونيويورك إلى برشلونة ، حيث أن فصول الشتاء المعتادة في مدينتين في القارة الأمريكية لا تتماشى مع نظيراتها الأوروبية. مياه الغلاف المائي في حركة دائمة: التيارات والأمواج والمد والجزر تهز البحار والبحيرات والأنهار ، تنزلق الأنهار الجليدية فوق القارات ،

وتتجرف الجبال الجليدية ، مدفوعة بالرياح والتيارات ، وتتسلل ألف تيارات إلى الصخور وتحفر الكهوف وتحميلها بالملح عند نفادهم إلى البحر .يشكل الغلاف المائي الغلاف الصخري عن طريق التعرية ولكن أيضًا عن طريق نقل الحطام وتجميعه إلى درجة تكوين هياكل جيولوجية جديدة.

مميزات ؛ يزداد الضغط مع العمق - حوالي 1000 هيكروباسكال كل 10 أمتار .على ارتفاع 200 متر تحت مستوى سطح البحر ، يجب أن يتحمل كل سنتيمتر مربع 1,023 كجم .تنخفض درجات الحرارة بشكل غير منتظم ومختلف حسب خط العرض .عند خط الاستواء ، يبلغ المتوسط 30 درجة مئوية على السطح ، و 15 درجة مئوية عند -250 م ، و 8 درجات مئوية عند -500 م ، و 5 درجات مئوية عند -1000 م ، وتستقر بين 5 و 0 درجة مئوية عند -4000 م . وبالتالي ، فإن درجة الحرارة التي يتم مواجهتها بشكل شائع على السطح عند القطبين يبلغ عمقها 4000 متر فقط عند خط الاستواء.

### I-2-3 الغلاف الجليدي Cryosphere :

جميع أشكال الجليد في النظام المناخي ، بما في ذلك الكتل الجليدية الداخلية ، والجروف الجليدية ، والجليد البحري ، والأنهار الجليدية ، والتربة الصقيعية .احتياطيات المياه على المدى الطويل ، والتغيرات في توازن الإشعاع على سطح الأرض ، تؤثر على الملوحة في المناطق الحرجة من المحيط [8] .

عناصر الغلاف الجليدي :

الغلاف الجليدي هو جزء من نظام مناخ الأرض الذي يشمل هطول الأمطار الصلبة والتلج والجليد البحري والبحيرات وجليد الأنهار والجبال الجليدية والأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية والصفائح الجليدية وأشكال الجليد والتربة الصقيعية والأرض المتجمدة موسميًا .يعود أصل مصطلح "الغلاف الجليدي" إلى الكلمة اليونانية "kryos" التي تعني الصقيع أو الجليد [10] .

العناصر الرئيسية للغلاف الجليدي:

- ✓ تلج
- ✓ ترسيب صلب
- ✓ جليد البحر .
- ✓ البحيرة والجليد النهري .
- ✓ التربة الصقيعية .
- ✓ الأنهار الجليدية .
- ✓ صفائح ثلجية .
- ✓ قطع آيس كريم.

### I-2-4 مساحة الأرض (Land Surface) :

الأرض الصلبة .موضع القارات كعامل محدد للمناطق المناخية والتيارات المحيطية ، والتغيرات في مستوى سطح البحر ، وتحول الموجات القصيرة إلى موجات طويلة ، وانعكاسية سطح الأرض (الرمال تختلف عن الصخور ، أو الأشكال الأخرى) ، وصندوق الغبار ، ونقل الزخم والطاقة.[11]

تستخدم نماذج سطح الأرض (LSM) طرقًا كمية لمحاكاة تبادل المياه وتدفقات الطاقة عند السطح البيئي للغلاف الجوي للأرض .هذه هي العناصر الأساسية لنماذج المناخ .[12]

### I-2-5 المحيط الحيوي :

الغطاء العضوي للكتل الأرضية (الغطاء النباتي والتربة) والكائنات البحرية. يحدد تبادلات الكربون بين الخزانات المختلفة ، وبالتالي تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ، وكذلك أرصدة العديد من الغازات الأخرى ، وبالتالي أيضًا توازن الإشعاع. يؤثر على انعكاسية السطح ، وبالتالي فإن توازن الإشعاع (على سبيل المثال ، التندرا بخلاف الأراضي العشبية) ، ينظم نقل بخار الماء من التربة إلى الغلاف الجوي ، ومن خلال خشونته ، تبادل النبضات بين الغلاف الجوي والتربة [11]. هذا التعريف العام للغلاف الحيوي مقبول على نطاق واسع ، على الرغم من أن الجيولوجيين يعرّفون أحيانًا المحيط الحيوي ليشمل فقط الحياة نفسها - البكتيريا والطحالب والنباتات والحيوانات ، بما في ذلك البشر ، التي تعيش على الأرض . بدلاً من محيطها .بالإضافة إلى ذلك ، يخلق المحيط الحيوي جزءًا رابعًا من مخطط الأرض وفقًا لهذه الشروط الضيقة ويتفاعل مع الثلاثة الآخرين (الغلاف الصخري والغلاف المائي والغلاف الجوي) [13]. غالبًا ما يتم التعامل مع العنصر السادس ، الذي له صلة خاصة بتقييم التغيرات المستقبلية ، كجزء من النظام المناخي: الأنثروبوسفير (  $\alpha\nu\theta\rho\rho\sigma$ =الإنسان) ، المكون من عمليات تسبب فيها أو عدلها الإنسان. والأهم هو انبعاث المواد التي تغير التوازن الإشعاعي والتغير في استخدام الأراضي (إزالة الغابات ، والتصحر ، والتدهور ، والتحول إلى مناطق مبنية). [11]

غالبًا ما يتم التعامل مع العنصر السادس ، الذي له صلة خاصة بتقييم التغيرات المستقبلية ، كجزء من النظام المناخي: الأنثروبوسفير (  $\alpha\nu\theta\rho\rho\sigma$  = الإنسان) ، المكون من عمليات تسبب فيها أو عدلها الإنسان. والأهم هو انبعاث المواد التي تغير التوازن الإشعاعي والتغير في استخدام الأراضي (إزالة الغابات ، والتصحر ، والتدهور ، والتحول إلى مناطق مبنية). [11]

الجدول I - 1: بعض الأمثلة على العمليات التي تحدد المناخ بمقاييسها الزمانية والمكانية المميزة. [11]

مكون من مكونات نظام المناخ	العملية	مقياس الوقت المميز	المقياس المكاني المميز
الغلاف الجوي	تصادم القطرات أثناء تكون السحب	$10^{-6}-10^{-3}$ s	$10^{-6}$ m
	تشكيل خلايا الحمل الحراري convection cells	$10^4-10^5$ s	$10^2-10^4$ m
	تطوير أنظمة الطقس	$10^4-10^5$ s	$10^6-10^7$ m
	استمرار توزيعات الضغط	$10^6$ s	$10^6-10^7$ m
	التذبذب الجنوبي	$10^7$ s	$10^7$ m
	تبادل طبقة التروبوسفير والستراتوسفير	$10^7-10^8$ s	global
الغلاف المائي	تبادل الغازات والغلاف الجوي والمحيطات	$10^{-3}-10^6$ s	$10^{-6}-10^3$ m
	تكوين المياه العميقة	$10^4-10^6$ s	$10^4-10^5$ m
	الدوامات المحيطية متوسطة الحجم	$10^6-10^7$ s	$10^4-10^5$ m
	انتشار موجات روسبي	$10^7$ s	$10^7$ m
	El Niño	$10^7-10^8$ s	$10^7$ m
	وقت دوران المياه العميقة	$10^9-10^{10}$ s	global
الغلاف الجليدي	تشكيل التربة الصقيعية	$10^7-10^9$ s	$1-10^6$ m
	تشكيل جليد البحر	$10^7-10^8$ s	$1-10^6$ m
	كتل الجليد الأرضية	$10^8-10^{11}$ s	$10^2-10^7$ m
سطح الأرض	التغيرات في الانعكاسية	$10^7-10^8$ s	$10^2$ m- global
	الموازنة المتوازنة للقشرة عن طريق تغطية كتل الجليد	$10^8-10^{11}$ s	$10^6$ m- global

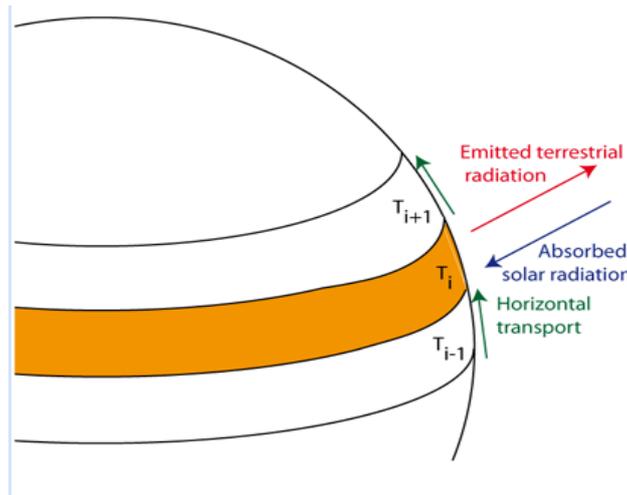
المحيط الحيوي	تبادل الكربون مع الغلاف الجوي	$10^4-10^8$ s	$10^{-3}$ -global
	تحول مناطق الغطاء النباتي	$10^9-10^{10}$ s	$10^2-10^7$ m

### I-3 تسلسل النماذج:

#### I-3-1 نماذج توازن الطاقة:

كما يوحي اسمها ، تقدر نماذج توازن الطاقة التغيرات في نظام المناخ من تحليل توازن طاقة الأرض. في أبسط أشكالها ، لا تتضمن أي أبعاد مكانية صريحة ، وتوفر فقط القيم المتوسطة العالمية للمتغيرات المحسوبة. لذلك يطلق عليهم اسم EBMs ذات الأبعاد الصفرية. قدم (Budyko (1969 و Sellers في (1969) أساس هذه الصكوك الإلكترونية.

التغيرات في تخزين الحرارة = الإشعاع الشمسي الممتص - الإشعاع الأرضي المنبعث



الشكل I-10: تمثيل EBM أحادي البعد حيث يتم حساب متوسط درجة حرارة  $T_i$  على شريط من خط الطول. [14]

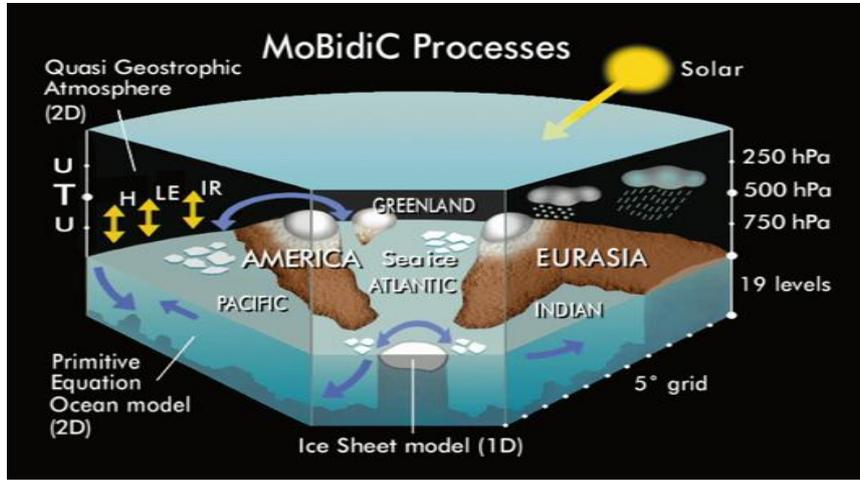
نماذج الصندوق لها أوجه تشابه واضحة مع نماذج EBM من حيث أنها تمثل مساحات كبيرة أو مكوناً كاملاً من النظام بمتوسط يصف المتوسط على "مربع". يتم بعد ذلك تكوين التبادلات بين المقصورات وفقاً لخصائص الصناديق المختلفة. يعتمد التعريف الدقيق للمربعات على الغرض من النموذج. على سبيل المثال ، تحتوي بعض تصميمات الصناديق على مقصورة للغلاف الجوي وسطح الأرض وطبقات سطح المحيط وأعماق المحيط ، مما قد يميز بين نصفي الكرة الأرضية. تشمل العناصر الأخرى على مكونات إضافية تتيح وصفاً لدورة الكربون وبالتالي تشمل الصناديق المقابلة لخزانات مختلفة.

[14]

مثل EBMs ، تتضمن EMIC بعض التبسيط ، لكنها تتضمن دائماً تمثيلاً لجغرافيا الأرض ، أي أنها توفر أكثر من المتوسطات على الأرض بأكملها أو المربعات الكبيرة. ثانياً ، أنها تشمل على درجات من الحرية أكثر بكثير من تلك التي تتضمنها EBMs. ونتيجة لذلك ، لا يمكن تعديل معلمات EMIC بسهولة لتقليد الخصائص المرصودة للنظام المناخي ، كما يمكن القيام به مع بعض النماذج الأبسط .

يختلف مستوى التقريب الذي ينطوي عليه تطوير النموذج اختلافاً كبيراً بين بلدان EMIC المختلفة. تستخدم بعض النماذج تمثيلاً بسيطاً جداً للجغرافيا ، مع تمثيل منطقي متوسط للغلاف الجوي والمحيطات. يتم دائماً التمييز بين أحواض المحيط الأطلسي والمحيط الهادئ والهندي (الشكل I-11) نظراً للاختلافات القوية بينهما في الدوران. نظراً لأن الدوران في الغلاف الجوي والمحيطات ثلاثي الأبعاد بشكل أساسي ، فإن بعض البارامترات للنقل الزوال ضرورية. تلك المطورة من أجل EMICs بشكل عام أكثر تعقيداً وقائمة على أساس مادي من تلك المستخدمة في EBMs أحادية البعد (I-D).

من ناحية أخرى ، تشمل بعض رموز EMIC على مكونات مشابهة جداً لتلك التي تم تطويرها من أجل GCMS ، على الرغم من استخدام شبكة رقمية خشنة لإجراء العمليات الحسابية بسرعة كافية للسماح بتشغيل عدد كبير من عمليات المحاكاة الطويلة نسبياً. يتم تبسيط بعض المكونات الأخرى ، بما في ذلك الغلاف الجوي عادةً ، لأنه أكثر مكونات الكمبيوتر اعتماداً على الوقت في النماذج المناخية المزوجة. [15]

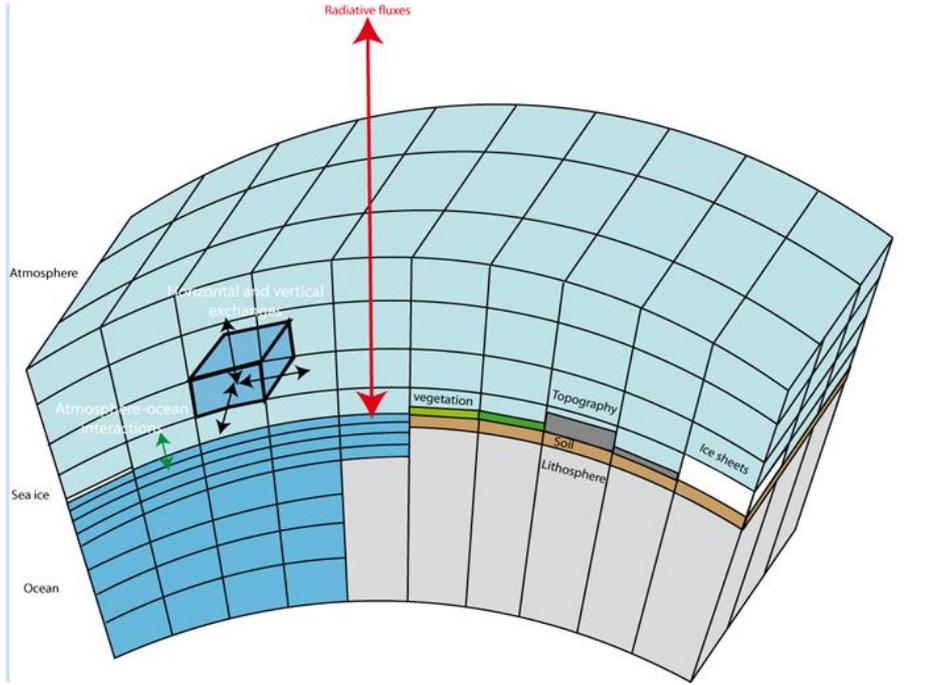


الشكل I-11: رسم تخطيطي لهيكل نموذج مناخي متوسط التعقيد MOBIDIC الذي يتضمن متوسط جو منطقي ، ونموذج محيطي ثلاثي الأحواض (يقابل المحيطين الأطلسي والهندي) والقبعات الجليدية المبسطة. [15]

### I-3-3 نماذج الدوران العامة:

توفر نماذج الدوران العامة الوصف الأكثر دقة وتعقيداً للنظام المناخي. حالياً ، تتراوح دقة الشبكة الخاصة بهم عادةً من 100 إلى 200 كيلومتر. لذلك ، بالمقارنة مع EMICs (التي لديها دقة شبكية تتراوح بين 300 كم وآلاف الكيلومترات) ،

فإنها توفر معلومات أكثر تفصيلاً على نطاق إقليمي. قبل بضع سنوات ، تضمنت نماذج GCM فقط تمثيلاً للغلاف الجوي وسطح الأرض وأحياناً دوران المحيطات ونسخة مبسطة جداً من الجليد البحري. في الوقت الحاضر ، تأخذ نماذج GCM في الاعتبار المزيد والمزيد من المكونات ، وتشتمل العديد من النماذج الجديدة الآن على نماذج متطورة الجليد البحري ، ودورة الكربون ، وديناميكيات الصفائح الجليدية وحتى كيمياء الغلاف الجوي (الشكل 1-12). [16]



الشكل 1-12: تمثيل مبسط لجزء من مجال نموذج تداول عام. [16]

يوضح بعض المكونات والعمليات الهامة. من أجل الوضوح ، تم تكبير انحناء الأرض ، والإحداثيات الأفقية والرأسية لم يتم قياسها ، وتم تقليل عدد نقاط الشبكة مقارنة بالنماذج المتقدمة.

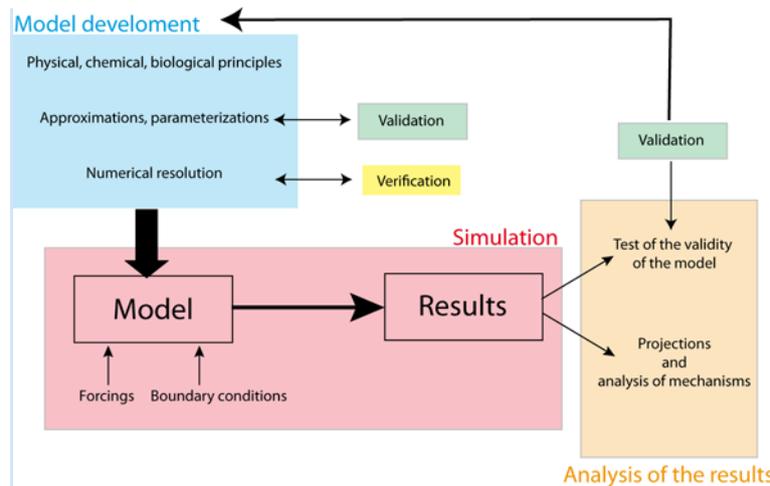
نظراً للعدد الكبير من العمليات المضمنة ودقتها العالية نسبياً ، تتطلب عمليات محاكاة GCM قدرًا كبيرًا من وقت الكمبيوتر. على سبيل المثال ، عادةً ما تستغرق تجربة تمتد لقرن من الزمان عدة أسابيع لتشغيلها على أسرع أجهزة الكمبيوتر. مع زيادة قوة الحوسبة ، تصبح عمليات المحاكاة الأطول ذات الدقة العالية ميسورة التكلفة ، مما يوفر تفاصيل إقليمية أكثر من الجيل السابق من الطرز.

I-4 اختبار صلاحية النماذج :

I-4-1 التحقق والتحقق والاختبار :

على الرغم من التصميم الدقيق للغاية ، ليس هناك ما يضمن أن نموذج الكمبيوتر سيكون مناسبًا للاستخدام المقصود منه: قد تكون بعض العمليات التي تعتبر غير مهمة أكثر أهمية مما كان يعتقد في البداية ؛ قد لا يكون الإعداد صالحًا في ظروف معينة من الاهتمام أو قد يكون غير متوافق مع الافتراضات الأخرى المستخدمة ؛ قد يكون اختيار المعلمات بعيدًا عن المستوى الأمثل ؛ إلخ. نتيجة لذلك ، يجب اختبار النماذج المناخية لتقييم جودتها وتقييم أدائها. في هذا السياق ، من الضروري دائمًا مراعاة الأهداف العلمية للدراسة (أو الدراسات) التي سيتم تنفيذها باستخدام نموذج معين. على الرغم من أن المبادئ لا تزال كما هي ، فإن الاختبارات التي يتم إجراؤها باستخدام نموذج تم تطويره لتحليل تطور دورة الكربون العالمية على مدى المليون سنة الماضية تختلف بوضوح عن تلك الخاصة بالنموذج الذي يوفر توقعات لتغير المناخ في المستقبل بأعلى دقة ممكنة. [17]

تتمثل الخطوة الأولى في التأكد من أن النموذج الرقمي يحل معادلات النموذج المادي بشكل مناسب. هذا الإجراء ، الذي يُسمى غالبًا التحقق (الشكل I-13)، يتعامل فقط مع الاستبانة العددية لمعادلات النموذج ، وليس مع الاتفاق بين النموذج والواقع. يتحقق من عدم إدخال أي خطأ ترميز في البرنامج. يجب أيضًا أن تكون الطرق العددية المستخدمة لحل معادلات النموذج دقيقة بما فيه الكفاية. طرق مختلفة متاحة لتحقيق هذا الهدف. الحل القياسي هو مقارنة الحل العددي مع الحل التحليلي لحالات الاختبار المثالية للغاية التي يتوفر لها حل دقيق. من الممكن أيضًا الإعلان رسميًا عن صحة أجزاء معينة من الكود ، على سبيل المثال ، تلك التي تحل أنظمة كبيرة من المعادلات الجبرية الخطية  $n$  مع عدد غير معروف (والتي يتم إنتاجها غالبًا في إطار الدقة العددية للمعادلات التفاضلية الجزئية في النموذج شبكة). [17]



الشكل I-13: أ يوضح عمليتي التحقق والتحقق. تمت إضافة سهم إضافي من تحليل النتائج إلى تطوير النموذج لإظهار أن التحقق من الصحة عملية مستمرة. [17]

الخطوة التالية هي عملية التحقق ، أي تحديد ما إذا كان النمذج يمثل الواقع بأمانة. للقيام بذلك ، يجب مقارنة نتائج النمذج مع الملاحظات التي تم الحصول عليها في ظل نفس الظروف. على وجه الخصوص ، هذا يعني أنه يجب تحديد شروط الحدود والتأثيرات بشكل صحيح لتمثيل الحالة المرصودة. يجب أولاً إجراء التحقق من صحة تمثيل العمليات الفيزيائية الفردية ، مثل صياغة التغيير في بياض الثلج استجابة لذويان السطح وتغير درجة الحرارة. يتم ذلك عادة لمواقع معينة ، خلال الحملات الميدانية المصممة خصيصاً لدراسة هذه العملية. أنها توفر كمية أكبر بكثير من البيانات المحددة للغاية من قواعد البيانات العالمية ، مما يسمح بتقييم مفصل لأداء النمذج في هذا الموضوع. على نطاق أوسع ، يجب اختبار المكونات المختلفة للنمذج (الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري ، وما إلى ذلك) بشكل مستقل ، مما يضمن أن الظروف الحدودية في الواجهة مع المكونات الأخرى محددة جيداً. أخيراً ، يجب مقارنة نتائج النمذج المزوج بالكامل مع الملاحظات. كل هذه الخطوات ضرورية لأن المفاجآت غير السارة ممكنة دائماً بعد اقتران العناصر المختلفة ، بسبب التفاعلات غير الخطية بين المكونات. يمكن أيضاً إخفاء بعض المشكلات المتعلقة بالنمذج من خلال صياغة شروط الحدود عند تشغيل المكونات بشكل فردي. ومع ذلك ، فإن وجود نمذج مقترن يوفر نتائج معقولة لا يكفي. من أجل اختبار ما إذا كانت النتائج تحدث للسبب الصحيح ، من الضروري التحقق من أن جميع عناصر النمذج تقوم بعمل جيد ، وأن السلوك المرضي العام للنمذج لا يرجع إلى عدة أخطاء في اختلافها العناصر. "الإلغاء المتبادل. عندما تناقش التحقق والتحقق ، يجب أن ندرك دائماً أن الاثنين يمكن أن يكونا جزئياً فقط لنمذج مناخي ، باستثناء ربما في بعض الحالات التافهة. لا يمكن تقدير دقة الحل الرقمي إلا لعناصر صغيرة من الكود أو في ظل ظروف خاصة (مبسطة). في الواقع ، إذا كان من الممكن الحصول على حل دقيق للغاية للمقارنة مع نتائج النمذج العددي لجميع الحالات الممكنة ، فلن يكون هناك اهتمام بتطوير نمذج رقمي! تقتصر مقارنة نتائج النمذج مع الملاحظة أيضاً على ظروف معينة محددة ، وسيطلب التحقق الكامل من نمذج مناخي في جميع المواقف المحتملة عدداً لا حصر له من الاختبارات. لذلك لا يمكن اعتبار أي نمذج مناخي على أنه تم التحقق منه رسمياً أو التحقق من صحته. يقال أحياناً أنه يتم التحقق من صحة النمذج إذا اجتاز عدداً معقولاً من الاختبارات. في مثل هذه الحالة ، يمكن أن تكون مصداقية إسقاطات النمذج التي يتم إجراؤها باستخدام مثل هذا النمذج عالية جداً. ومع ذلك ، لا توجد طريقة لضمان رسمياً أن نتائج النمذج ستكون صحيحة حتى لو كانت الظروف مختلفة قليلاً فقط عن تلك المستخدمة في عملية التحقق من الصحة ، خاصةً بالنسبة لنظام معقد للغاية مثل المناخ. بالإضافة إلى ذلك ، لا يوجد اتفاق في علم المناخ على عدد معقول من الاختبارات.

لذلك يجب تجنب مصطلح "نمذج تم التحقق من صحته" وتعبيرات مثل "تم التحقق من صحة النمذج". بدلاً من ذلك ، يجب النظر إلى التحقق والتحقق على أنهما عمليات لا تؤدي أبداً إلى منتج نهائي ونهائي. يجب إعادة اختبار النمذج باستمرار كلما توفرت بيانات جديدة أو نتائج تجريبية. يمكن بعد ذلك رؤية بناء النمذج بنفس طريقة النظرية العلمية. يتم عمل الافتراضات ويتم تطوير النسخة الأولى من النمذج. ثم تتم مقارنة نتائج النمذج بالملاحظات. إذا كانت نتائج النمذج تتفق جيداً مع البيانات ، فيمكن للمرء أن يقول إن النمذج تم تأكيده لهذه الشروط ، وبالتالي زيادة مصداقيته. ومع ذلك ، هذا لا يعني أنه تم التحقق من صحة النمذج لجميع الحالات الممكنة. إذا لم تقارن نتائج النمذج جيداً بالملاحظات ، فيجب تحسين النمذج. يمكن أن يؤدي هذا إلى فرضيات جديدة ، أو إلى مصطلحات إضافية في المعادلات الحاكمة ،

أو إدراج عمليات جديدة بواسطة معادلات جديدة أو معلمات جديدة. بدلاً من ذلك ، يمكن ربط الخلاف بين النموذج والملاحظات باختيار غير مناسب لقيمة معلمات معينة غير معروفة بدقة. يعد ضبط هذه المعلمات جزءاً من معايرة النموذج ، وتسمى أيضاً الضبط. قد يقرر مطورو النماذج والمستخدمون أيضاً أنه إذا لم يستطع النموذج إعادة إنتاج الملاحظات في بعض الحالات الخاصة ، فإنه يشير إلى أنه غير صالح لمثل هذه الظروف ، على الرغم من أنه لا يزال من الممكن استخدامه في مواقف أخرى حيث تشير الاختبارات إلى سلوك أفضل. على سبيل المثال ، يمكننا تخيل نموذج مناخي لا يمكنه محاكاة مناخ المريخ بشكل صحيح دون بعض التعديلات ؛ ومع ذلك ، هذا لا يبطل ذلك لنمذجة الظروف على الأرض. من ناحية أخرى ، إذا كان يعمل جيداً لكل من المريخ والأرض ، فهو اختبار جيد لمدى متانته. تعد معايرة المعلمات الفيزيائية مطلوبة بشكل عام وهي مبررة تماماً لأنه لا يوجد سبب مسبق لاختيار قيمة معينة ضمن النطاق المرصود للمعلمات. من الصحيح أيضاً معايرة المعلمات الرقمية من أجل الحصول على الحل العددي الأكثر دقة للمعادلات. ومع ذلك ، يجب الحرص على أن المعايرة ليست وسيلة لإخفاء بعض أوجه القصور في النموذج بشكل مصطنع. إذا حدث هذا ، فهناك احتمال كبير ألا تعطي المعلمات المحددة نتائج مرضية لظروف أخرى (مثل المناخ في نهاية القرن الحادي والعشرين). يجب أن يؤدي إجراء العديد من الاختبارات لمواقف مختلفة جداً ولعناصر مختلفة من النموذج إلى الحد من المخاطر ، ولكن عدد الملاحظات غالباً ما يكون صغيراً جداً لضمان تجنب المشكلة تماماً. هناك مشكلة إضافية تتعلق بالتحسين المستمر للنموذج ومعايرته مع توفر بيانات جديدة وهي عدم وجود بيانات مستقلة لاختبار أداء النموذج حقاً. من الناحية المثالية ، ينبغي استخدام بعض المعلومات المتاحة لتطوير النموذج ومعايرته ، ويجب الاحتفاظ ببعضها لتقييم دقتها. هناك ممارسة نموذجية جيدة أخرى وهي اختيار أو تصميم مكونات النموذج التي يكون لاختيار قيمة معلمة معينة لها تأثير ضئيل على نتائج النموذج ، مما يقلل من أهمية المعايرة.

في جميع الاختبارات التي أجريت مع النموذج ، من الضروري تقدير التوافق بين نتائج النموذج والملاحظات. إنها مهمة معقدة وأحياناً يتم التقليل من شأنها. في الواقع ، أظهرت المقارنات بين نتائج النماذج المختلفة أن نموذجاً واحداً ليس الأفضل على الإطلاق لجميع المناطق والمتغيرات التي تم تحليلها. عادةً ما يؤدي تقديم إعداد جديد أو تغيير قيمة الإعداد إلى تحسين النتائج في بعض المناطق وتفاقمها في مناطق أخرى. يجب بعد ذلك ربط الاتفاقية بالاستخدام المقصود للنموذج. يمكن القيام بذلك بشكل حدسي إلى حد ما عن طريق المقارنة المرئية للخرائط أو الرسوم البيانية التي تصف كل من نتائج النموذج والملاحظات. ومع ذلك ، فإن الحل الأفضل هو تحديد مقياس مناسب. بالنسبة لحقل واحد ، مثل المتوسط السنوي لدرجة حرارة السطح  $T_s$  ، قد يكون متوسط الخطأ التربيعي البسيط (RMS) مناسباً:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (T_s - \text{obs}_k)^2} \quad (I.1)$$

حيث  $n$  هو عدد نقاط الشبكة التي تتوفر لها الملاحظات ،  $T_s$  ،  $\text{mod}_k$  هي درجة حرارة سطح النموذج عند النقطة  $k$  و  $\text{obs}_k$  ،  $T_s$  هي درجة حرارة السطح المرصودة عند النقطة  $k$ . يمكن تحسين هذا التقدير من خلال مراعاة مساحة كل نقطة على الشبكة أو عن طريق إعطاء وزن أكبر للمناطق الأكثر إثارة للاهتمام. إذا كان هناك العديد من المتغيرات التي

يجب تضمينها في المقياس ، فيمكن دمج أخطاء RMS للمتغيرات المختلفة بطرق مختلفة. يجب أن تأخذ مقارنة بيانات النموذج أيضًا في الاعتبار الأخطاء أو عدم اليقين في نتائج النموذج والملاحظات. يمكن أن ترتبط الأخطاء في الملاحظات ارتباطاً مباشراً بدقة الأدوات أو بالطريقة غير المباشرة المستخدمة لاستعادة إشارة المناخ. يمكن أن تكون حالات عدم اليقين أيضًا بسبب التباين الداخلي للنظام نظرًا لأن الملاحظات ونتائج النموذج التي تغطي فترة قصيرة نسبيًا لا تمثل بالضرورة متوسط سلوك النظام.

### I-4-2 تقييم أداء النموذج :

أكد القسم (I-4-1) الحاجة المطلقة إلى اختبار جودة نتائج النموذج بشكل كامل. سنقدم هنا بعض عمليات المحاكاة القياسية التي يمكن إجراؤها ومع ذلك ، لن نناقش الاختبارات المصممة خصيصًا لتحليل دقة الطرق العددية أو معايير معينة. [18]

الشرط الأول هو أن يكون النموذج قادرًا على محاكاة مناخ العقود الماضية بشكل جيد بشكل معقول والتي لدينا تقديرات جيدة لها (الشكل I-14). يتضمن ذلك إجراء عمليات محاكاة بما في ذلك تطور التأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ خلال هذه الفترة. يمكن أيضًا إجراء تجارب عددية مع تأثير ثابت تم تحديده في متوسط العقود الماضية أو لظروف ما قبل الصناعة (أي قبل أي تأثير بشري مهم ، بشكل عام 1750 أو 1850) من أجل توصيف سلوك شبه-التصنيع. التوازن النموذجي. في هذه الحالة ، من الضروري مراعاة الفرق بين ظروف ما قبل الثورة الصناعية التي تمت محاكاتها بواسطة النموذج والرصدات الحالية. [18]

Climate of the last 50-150 years	Paleoclimate modelling	Idealised test cases
+ Mean state	+ Last millenium and Holocene	+ 2 times CO <sub>2</sub> experiments
+ Variability at all timescales	+ Last Glacial Maximum	+ Water hosing experiments
+ Climate changes over the last 150 years	+ More distant past	

### الشكل I-14 : اختبارات كلاسيكية أجريت على نماذج مناخية. [18]

في هذه المحاكاة ، تتم مقارنة المتوسط طويل المدى للمتغيرات المختلفة ، في جميع مكونات النموذج ، بالملاحظات ، والتي يتم تقريبها بشكل عام على شبكة مشتركة. بالإضافة إلى ذلك ، يجب التحقق من قدرة النموذج على إعادة إنتاج التغير المناخي الملحوظ في جميع النطاقات الزمنية. وتتراوح هذه من الاختلافات العالية نسبيًا في الترددات المميزة لدرجات الحرارة القصوى مثل موجات الحرارة إلى أهم أنماط التباين على نطاق واسع مثل النينيو والتذبذب الجنوبي وتذبذب شمال الأطلسي. أخيرًا ، مدفوعًا بالتأثير المناسب ، يجب أن تكون النماذج المناخية قادرة على إعادة إنتاج الاحترار الملحوظ

لسطح الأرض على مدار الـ 150 عامًا الماضية بالإضافة إلى التغيرات المناخية الحديثة الأخرى. لا تغطي العقود الماضية سوى جزء صغير من التغيرات المناخية التي لوحظت منذ تكوين الأرض والمتوقعة في المستقبل. لاختبار قدرة النماذج على إعادة إنتاج مناخات مختلفة ، من الضروري بالتالي محاولة محاكاة بعض الظروف الماضية. جودة بيانات المراقبة المتاحة أقل (بكثير) من تلك التي كانت في العقود الماضية ، وقد يكون من الصعب أحيانًا استخلاص استنتاجات موثوقة من مقارنات النماذج / البيانات لفترات سابقة معينة. ومع ذلك ، فهي العينة الوحيدة للحالات المحتملة للنظام المناخي التي لدينا. فترة الاختبار الطبيعية الثانية (الشكل 1-14) هي عصر الهولوسين والألفية الأخيرة ، والتي لدينا معرفة جيدة إلى حد ما بالتغيرات المناخية. على الرغم من وجود شكوك كبيرة ، إلا أن التأثير معروف أكثر بكثير من الفترات السابقة. بالإضافة إلى ذلك ، فإن شروط الحدود (مثل التضاريس أو قياس الأعماق في المحيطات) متشابهة هنا. آخر قمة جليدية هي أيضًا فترة رئيسية لأنها تمثل مناخًا حديثًا نسبيًا يختلف اختلافًا ملحوظًا عن مناخ العقود الماضية. من أجل إجراء مثل هذه المحاكاة ، ما لم يتم حساب المتغيرات بشكل تفاعلي ، فمن الضروري تحديد المتغيرات مثل موضع وشكل القمم الجليدية الكبيرة الموجودة في القارات ، والتغيرات في حدود اليابسة / البحر وعمق المحيطات بسبب مستوى سطح البحر ، وتعديل الغطاء النباتي والخصائص الإشعاعية للغلاف الجوي (خاصة بسبب ارتفاع محتوى الغبار). كل هذه العناصر يمكن أن تكون مصادر عدم اليقين لمحاكاة المناخ. توفر مناخات ما قبل العصر الرباعي نطاقًا أوسع من التغيرات المناخية ، لكن الشكوك حول التأثير والظروف الحدودية والمناخ نفسه أكبر. نتيجة لذلك ، لا تُستخدم هذه الفترات الزمنية حاليًا كاختبارات قياسية للنماذج المناخية ، على الرغم من أن هذا من المرجح أن يتغير في المستقبل القريب مع توفر معلومات جديدة.

وفي أخيرًا ، يتم إجراء تجارب مثالية مع النماذج المناخية (الشكل 1-14). لا يمكن مقارنتها مباشرة بالملاحظات لأنها لا تتوافق مع أي موقف في الماضي أو الحاضر. ومع ذلك ، فهي مفيدة جدًا لتوثيق استجابة النموذج لاضطراب بسيط ومحدد جيدًا. عادة ما يتم إجراء تجربتين فكريتين قياسيتين. الأول هو مضاعفة تركيز الغلاف الجوي لثاني أكسيد الكربون في النموذج ، وهو اختبار ضروري لتقدير حساسية المناخ في النموذج. في الثانية (الري) ، يتم تصريف كميات كبيرة من المياه العذبة في شمال المحيط الأطلسي لتحليل التغيرات المناخية الناجمة عن التعديل المرتبط بدورة المحيطات. تتيح هذه الاختبارات أيضًا مقارنة سلوك النماذج المختلفة في نفس الظروف التجريبية تمامًا. يؤدي هذا إلى تمارين المقارنة بين النماذج التي تتمثل أهدافها في فهم أفضل لأسباب الاستجابات المختلفة للنماذج المختلفة. يتم أرشفة نتائج هذه المقارنات في قواعد البيانات لضمان الوصول الواسع. يتم أيضًا تخزين النتائج من عمليات المحاكاة الأخرى (مثل منتصف الهولوسين أو المناخ الجليدي الأخير الأقصى ، وتغير المناخ في العقود الأخيرة ، وتغير المناخ في المستقبل) في قواعد بيانات عامة أو شبه عامة. بحيث يمكن تحليلها بشكل مستقل من قبل عدد كبير من العلماء.

### I-5 حساسية المناخية وردود الفعل :

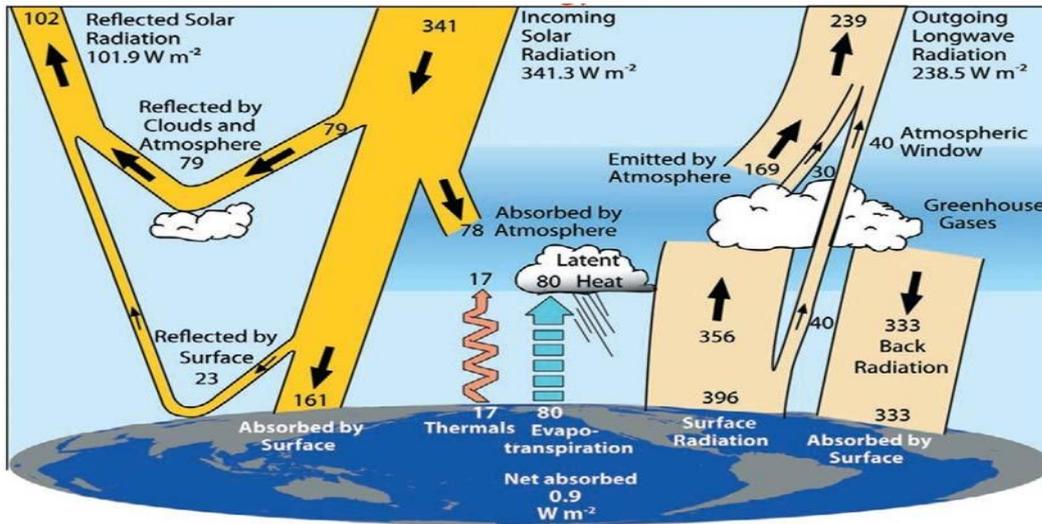
حساسية المناخ هي مقياس يستخدم لوصف استجابة نظام المناخ العالمي لتأثير معين. يتم تعريفه تقريباً على أنه التغيير في متوسط درجة حرارة السطح العالمية عند التوازن بعد مضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. يعد انتشار حساسية النموذج للمناخ عاملاً رئيسياً يساهم في نطاق التوقعات لتغير المناخ في المستقبل بالإضافة إلى عدم اليقين في سيناريوهات الانبعاثات المستقبلية ومعدلات امتصاص حرارة المحيطات. لذلك ، تم فحص الاختلافات في حساسية المناخ بين النماذج عن كثب في التقارير الأربعة للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ. يتم تحديد حساسية المناخ إلى حد كبير من خلال عمليات التغذية المرتدة الداخلية التي تضخم أو تخفف من تأثير التأثير الإشعاعي على المناخ. لتقييم موثوقية التقديرات المنمذجة لحساسية المناخ ، يمكن تقييم قدرة النماذج المناخية على إعادة إنتاج تغيرات مناخية مختلفة ناجمة عن تأثيرات معينة. وتشمل هذه آخر قمة جليدية وتطور المناخ خلال الألفية الماضية والقرن العشرين. نهج آخر ، يتم اتباعه هنا ، هو تقييم موثوقية عمليات التغذية الراجعة المناخية الرئيسية المعروف أنها تلعب دوراً حاسماً في تقدير حساسية المناخ بواسطة النماذج. [19]

يوضح هذا القسم سبب اختلاف تقديرات حساسية المناخ والتفاعلات المناخية بين النماذج الحالية ، ويلخص فهم دور عمليات التغذية المرتدة الإشعاعية الرئيسية المرتبطة بخار الماء ومعدل الانحلال ، والسحب والتلج والجليد البحري في حساسية المناخ ، وتقييم العلاج. من هذه العمليات في نماذج المناخ العالمي المستخدمة لعمل توقعات لتغير المناخ في المستقبل. [19]

أخيراً ، ناقش كيف يمكننا تقييم ثقتنا النسبية في التقديرات المختلفة لحساسية المناخ المستمدة من النماذج المناخية. لاحظ أن ردود الفعل المناخية المرتبطة بالعمليات الكيميائية أو البيوكيميائية لم تتم مناقشتها في هذا القسم ، كما لا تتم مناقشة التغذية المرتدة على المستوى المحلي (على سبيل المثال ، بين رطوبة التربة وهطول الأمطار). [19]

### I-6 التقييم الإشعاعي للعالمي للنظام المناخي :

الشمس هي مصدر الطاقة الوحيد ذي الصلة بالنظام المناخي في نطاق زمني أقل من حوالي 106 سنة. يتم عرض تدفقات الطاقة المختلفة في (الشكل-15). من الشمس ، يصل 341 واط م<sup>2</sup> إلى الجزء العلوي من الغلاف الجوي (وهذا يتوافق مع حوالي ربع كثافة التدفق الشمسي ، الثابت الشمسي = 1368 واط م<sup>2</sup>) ، بينما بالكاد يتوفر النصف لتسخين السطح. تنعكس الغيوم معظم إشعاع الموجات القصيرة ، وتنعكس مباشرة عن سطح الأرض نفسه ، ويمتصها الغلاف الجوي. يتناقض الإشعاع الوارد مع الإشعاع السطحي ذي الموجة الطويلة الخارج بحوالي 396 واط م<sup>2</sup>. عن طريق الحمل الحراري والتبخر ، يفقد السطح 100 واط م<sup>2</sup> أخرى ، والتي - في حالة عدم وجود عمليات مهمة أخرى - من شأنها أن تؤدي إلى توازن طاقة سلبي على السطح. [20]



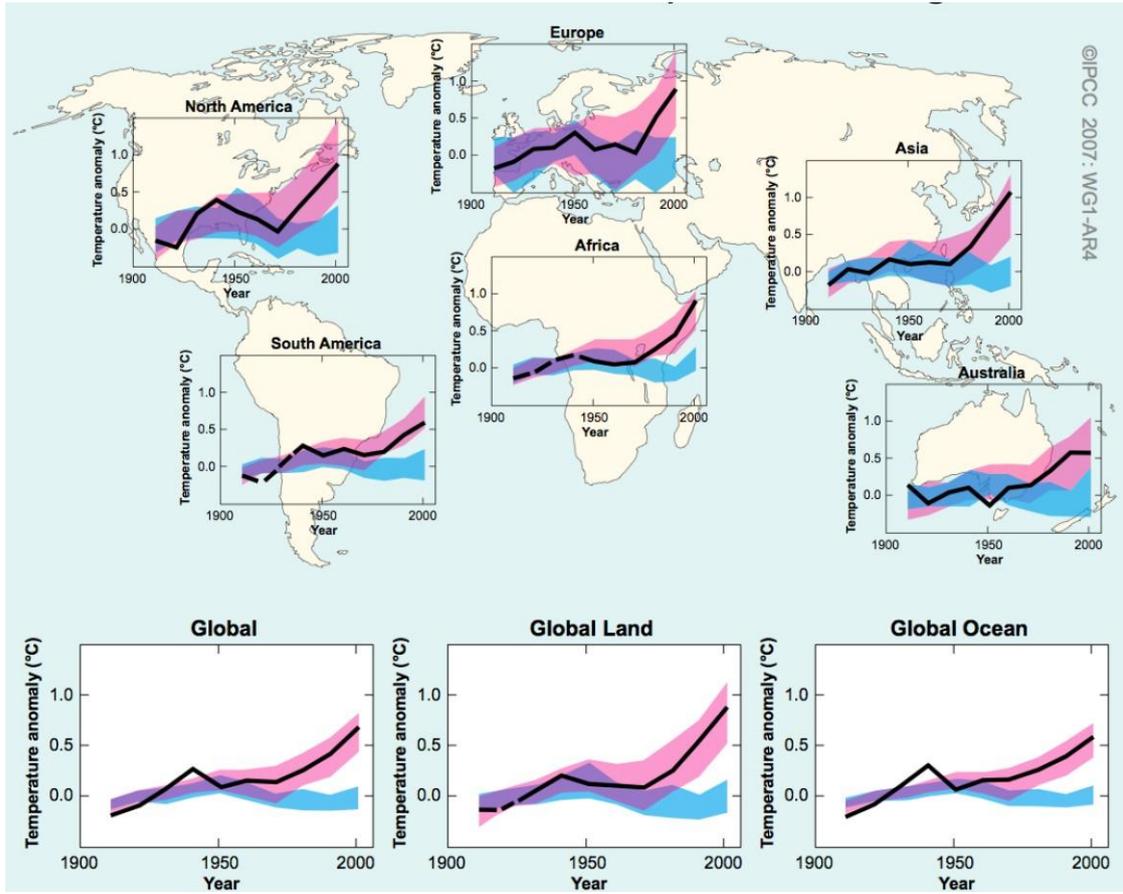
الشكل I-15: تتدفق الطاقة العالمية من مصادر مختلفة تحدد ميزانية إشعاع الأرض. (الشكل من Trenberth et al.، 2009، BAMS 90، 311). [20]

تأثير الدفيئة الطبيعي، الناجم عن غازات الدفيئة مثل  $H_2O$  و  $CO_2$  و  $CH_4$  و  $N_2O$  والغازات النزرة الأخرى، هو المسؤول عن عودة الأشعة تحت الحمراء بحوالي 333 واط / م<sup>2</sup>. ينتج عن هذا توازن طاقة بمتوسط إجمالي لدرجة حرارة سطح حوالي 14 درجة مئوية. [20]

### I-7 بعض الأمثلة الحالية للنمذجة المناخية :

I-7-1 محاكاة القرن العشرين لتحديد الصلة بين زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والتغيرات في درجات الحرارة :

بما أن أهم العوامل المحددة لتوازن الإشعاع معروفة، فإن تأثير يمكن تقدير التركيزات المتزايدة من ثاني أكسيد الكربون على المتوسط السنوي لدرجة حرارة الغلاف الجوي. يوضح الشكل (I-16) نتائج عمليات المحاكاة باستخدام النماذج المناخية باستخدام ظروف أولية مختلفة قليلاً (تسمى محاكاة المجموعة). تتم مقارنة متوسط درجات حرارة تشغيل النموذج مع الملاحظات على مدار القرن العشرين (خطوط عريضة). إذا أخذت النماذج في الحسبان جميع العوامل الدافعة: التغيير في "ثابت" الطاقة الشمسية، والانفجارات البركانية، والتفاعلات بين الغلاف الجوي والمحيطات، والتغيرات في تركيز ثاني أكسيد الكربون، وغازات الدفيئة الأخرى، وكذلك الهباء الجوي والكبريت، واتفاق المحاكاة مع تم العثور على تسجيلات الرصد (النطاقات العليا). في الحالة التي تظل فيها عوامل القيادة البشرية المنشأ ثابتة منذ عام 1970، يظهر انحراف منهجي لجميع نماذج المحاكاة من البيانات (النطاقات السفلية). هذه النتيجة صالحة عالمياً، وكذلك المتوسط القاري. [21]



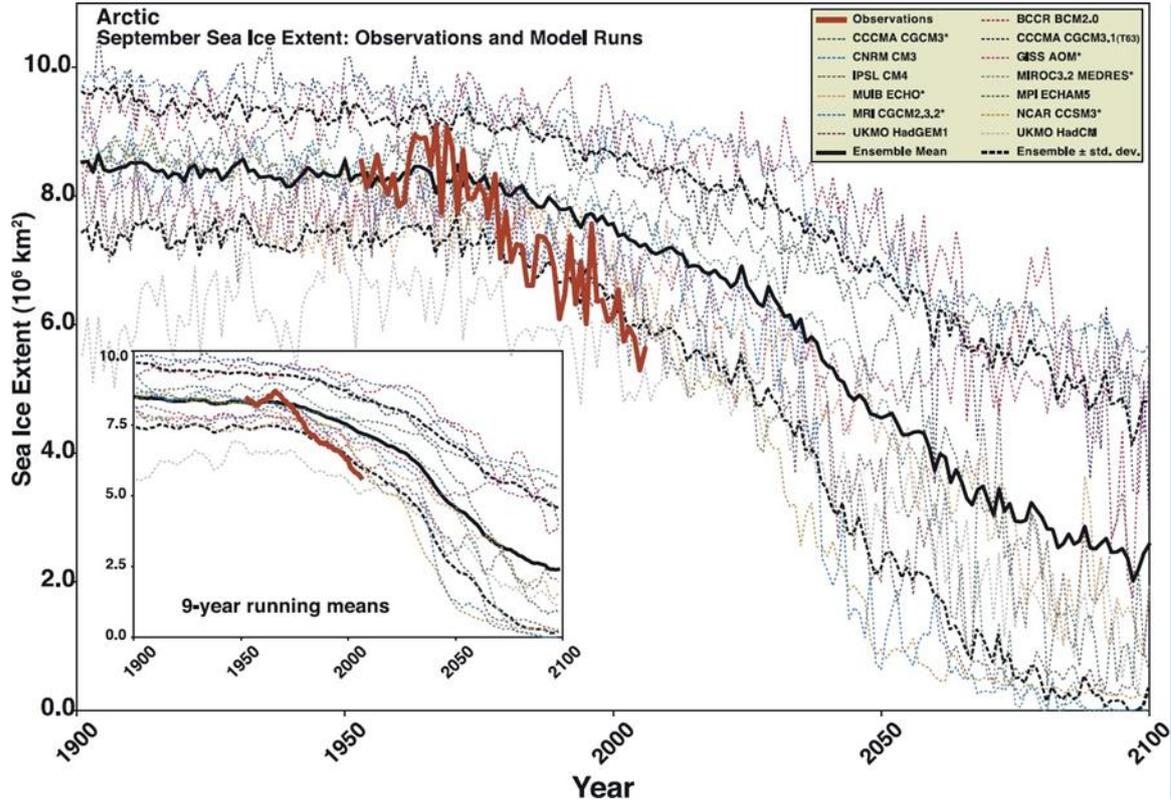
الشكل 16-I: التغير العالمي والقاري في درجات الحرارة منذ عام 1900. [21]

بناءً على القياسات (الخط العريض) ومحاكاة المجموعات مع النماذج المناخية المقترنة (النطاقات). تُظهر عمليات المحاكاة ذات التأثير الكامل التي تتضمن التغيرات في غازات الدفيئة، والهباء الجوي، والانفجارات البركانية المرصودة، والإشعاع الشمسي المتغير اتفاقاً معقولاً مع الملاحظات على مدار القرن العشرين بأكمله. إذا لم يؤخذ في الاعتبار تأثير التأثيرات البشرية (غازات الدفيئة، الهباء الجوي) على التوازن الإشعاعي، فلا يمكن محاكاة الزيادة الإجمالية في درجة الحرارة. (الشكل مأخوذ من الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2007، ملخص لصانعي السياسات، [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch))

#### I-7-2 انخفاض الغطاء الجليدي البحري في القطب الشمالي منذ حوالي عام 1960 :

تم توثيق الانخفاض في الغطاء الجليدي في القطب الشمالي من خلال الملاحظات المباشرة وكذلك عن طريق الاستشعار عن بعد. منذ حوالي عام 1960، تسارعت وتيرة الانخفاض في المساحة الإجمالية (الشكل 17-أ). تشير الدلائل المستمدة من بعثات الغواصات أيضاً إلى انخفاض حاد في سمك الجليد البحري، كما يظهر تطور مماثل في جميع النماذج المناخية المقترنة التي تم استخدامها لتقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. تشير النماذج

إلى انخفاض متسارع في امتداد الجليد البحري في القطب الشمالي منذ حوالي عام 1960. تفترض عمليات المحاكاة زيادة في ثاني أكسيد الكربون عن عام 1990 ، وفقاً لسيناريو انبعاث A1B على الرغم من أن الملاحظات والمحاكاة النموذجية تتفق مع الاتجاهات السلبية للغطاء الجليدي البحري في القطب الشمالي ، فإن الاتجاه الذي لوحظ منذ عام 1960 كان أقوى بشكل ملحوظ. في حين أن هذا يشير إلى وجود خلل عام في النماذج الحالية للتنبؤ بهذا المتغير المهم ، فإنه يصدر أيضاً تحذيراً قوياً فيما يتعلق بتطور الغطاء الجليدي البحري في القطب الشمالي خلال العقود القادمة. في الواقع ، لا يمكننا استبعاد القطب الشمالي بدون جليد بحري في أواخر الصيف بحلول عام 2030. [21]



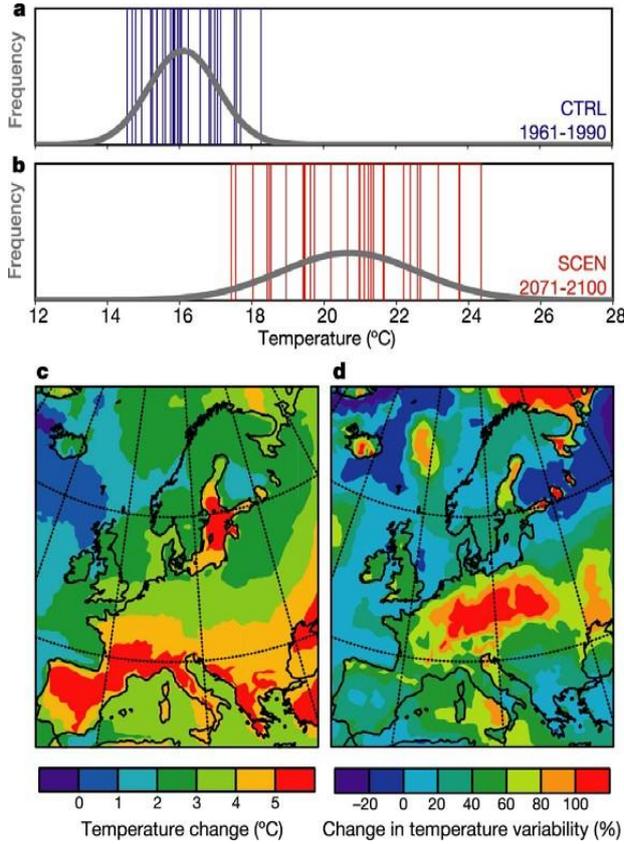
الشكل I-17: التغييرات في الغطاء الجليدي البحري في القطب الشمالي منذ عام 1900

وفقاً لمحاكاة النماذج المتعددة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (المنحنيات الرقيقة) والملاحظات الممثلة على

المنحنى الأحمر. (Stroeve et al. 2007، Geophys. Res. Lett. 34، L09501). [21]

### I-7-3 درجات الحرارة الصيفية في أوروبا قرب نهاية القرن الحادي والعشرين :

لا يمكن حل مسألة كيفية تأثير الزيادة في متوسط درجات الحرارة العالمية على المناخ في أوروبا إلا من خلال عدد قليل من النماذج المناخية ذات الدقة الإقليمية (الشكل I-18). تتطلب الدقة العالية (56 كم) موارد حوسبة ضخمة ويمكن فقط حساب شرائح الوقت. تُظهر المحاكاة باستخدام نموذج المناخ الإقليمي لـ ETHZ زيادة كبيرة في درجات حرارة الصيف في أوروبا بين 2071-2100 (Schär et al, 2004, nature, 247, 334). يزداد الاحترار على ارتفاعات عالية بسبب ردود الفعل الإيجابية على بياض الثلج وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط بسبب ردود الفعل الإيجابية على رطوبة التربة. [21]



الشكل I-18: توزيع وتقدير تغيرات درجة حرارة الصيف في أوروبا في الأعوام 2070-2100 ، محسوبة بنموذج المناخ الإقليمي ل (شير وآخرون ، 2004). [21]

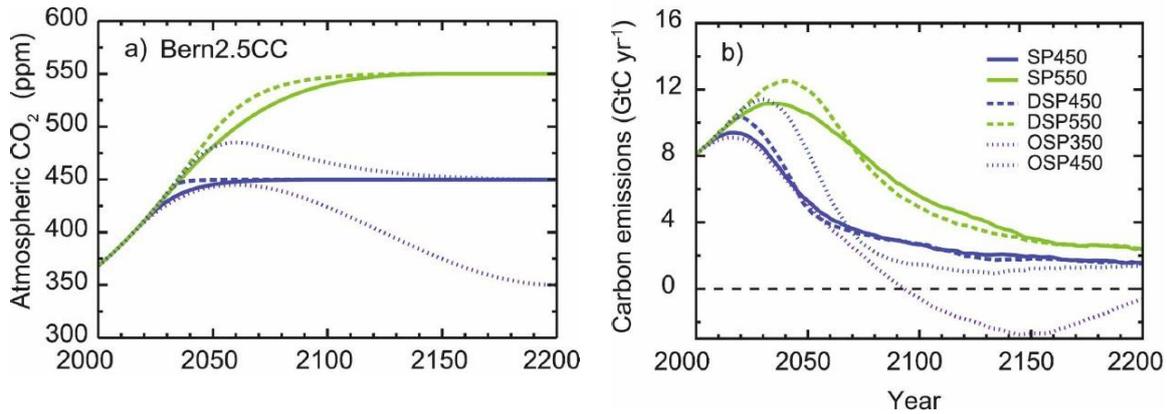
إلى جانب الاحترار القوي بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين ، سيكون كل صيف ثاني أو ثالث صيفاً حاراً أو أكثر سخونة من صيف 2003 المتطرف ، وهو حدث شديد لم يسبق له مثيل منذ 500 عام. [ 21 ]

ومع ذلك ، فإن محاكاة واحدة ليست بعد تقديراً موثقاً به للاحتراز المتوقع. لذلك ، أصبحت عمليات محاكاة المجموعات مع النماذج الفردية وتجميعها في مجموعات متعددة النماذج هي القاعدة. يجب فحص الكميات غير المؤكدة مثل حساسية المناخ أو تأثير السحب بشكل منهجي. سيتم الجمع بين التنبؤات المناخية المستقبلية وتقديرات الاحتمالات التي يمكن اشتقاقها من "محاكاة المجموعات". تم استخدام هذا النهج بالفعل في تقرير التقييم الرابع الأخير للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (2007). [21]

I-7-4 انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المصرح بها لمسارات التركيز في الغلاف الجوي المحددة :

يتطلب الامتثال للتركيزات القصوى المتفق عليها عالمياً لثاني أكسيد الكربون والمواد المشعة الأخرى حساب الانبعاثات المسموح بها. لا يمكن تحقيق ذلك إلا من خلال النماذج المناخية التي تتضمن تمثيلات للدورات البيوجيوكيميائية ، ولا سيما دورة الكربون. يجب النظر في التبادل مع المحيط ودور المحيط الحيوي البري والبحري من خلال النماذج الفرعية والمعايير المناسبة. [21]

يوضح الشكل (I-19) مثالاً محسوباً في جامعة الملك عبدالله بنموذج مناخي مبسط. لا يمكن تحقيق الاستقرار طويل الأجل لتركيزات ثاني أكسيد الكربون إلا من خلال تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير واختفاءها في نهاية المطاف. سيتطلب هذا الاستبدال الكامل للوقود الأحفوري. في عام 1998 ، كانت الانبعاثات من جميع مصادر الطاقة الأحفورية (بما في ذلك إنتاج الأسمت) حوالي 6.6 جيجا طن كربون \ سنة (1 جيجا طن كربون \ سنة = 1 جيجا طن من الكربون سنويًا = 1012 كجم سي \ سنة) ؛ بعد 10 سنوات ، تجاوزت 8 جيجا طن سنويًا. تظهر الحسابات أنه بعد الحد الأقصى المسموح به في عام 2030 ، يجب أن تتخفض الانبعاثات بشكل كبير (حوالي 1٪ سنويًا على مستوى العالم). تعد نماذج المحاكاة هذه ذات أهمية حاسمة بالنسبة للقرارات السياسية العالمية (بروتوكول كيوتو وخصائصه). [21]

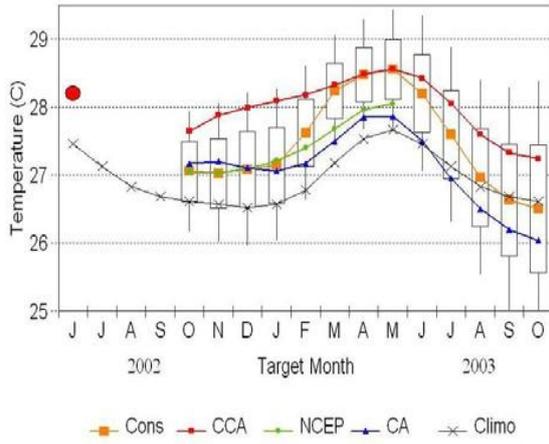


الشكل I-19: انبعاثات الكربون المسموح بها المتوقعة والتي تؤدي إلى استقرار ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عند مستويات التثبيت المعطاة لـ EMIC Bern2.5CC لمسارات مختلفة تؤدي إلى الاستقرار. [21]

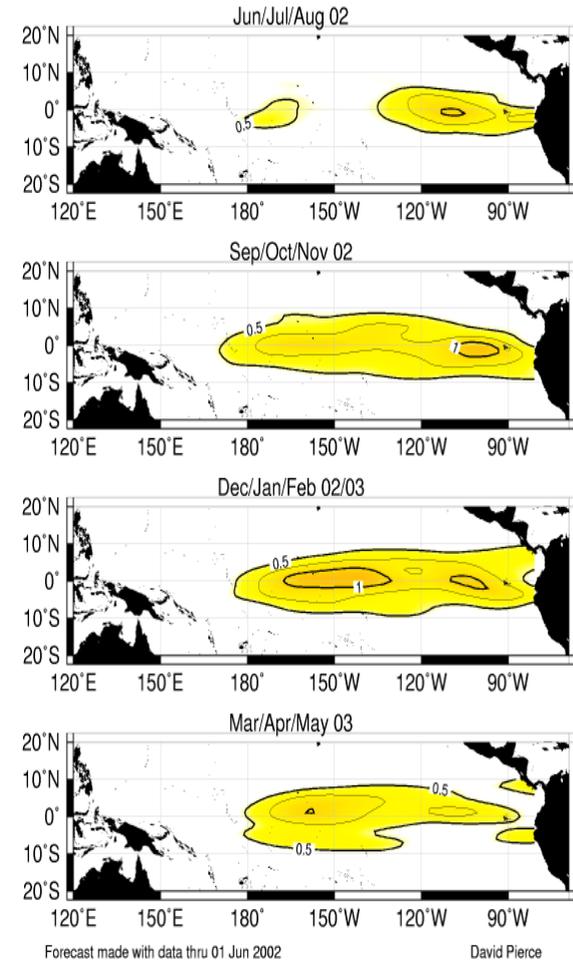
(أ) المسارات المفترضة لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في ملفات تعريف SP و OSP و DSP. (ب) انبعاثات الكربون الضمنية المتوقعة مع EMIC Bern2.5CC. تتم مقارنة الملفات الشخصية ذات نقطة التحول المتأخرة في زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (DSP) أو تجاوز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (OSP) بملف تعريف SP القياسي. يتم تطبيق المتوسطات المتحركة لمدة 31 عامًا على النتائج. (وفقاً لـ Plattner et al., 2008، J. Climate 21، 2721).

I-7-5- التنبؤ بظاهرة النينو الضعيفة لعام 2003/2002

يؤثر الاحترار غير المنتظم لمياه المناطق الاستوائية الشرقية من المحيط الهادئ ، المعروف باسم ظاهرة النينو - التذبذب الجنوبي (ENSO) ، بشدة على المناخ الاستوائي وخاصة دورة المياه. يؤدي تكوين الضغط الجوي والشذوذ في درجات الحرارة أيضًا إلى انحرافات عن المناخ المعتاد حول العالم (الاتصالات عن بُعد). [21].



SIO/MPI HCM-T3.0 Tropical SST Anomaly Forecast, 04 Jun 2002



الشكل I-20 أعلاه: درجة الحرارة في المنطقة

الاستوائية الشرقية من المحيط الهادئ ،

بناءً على عدة نماذج ، تمت تهيئتها ببيانات حتى

أغسطس 2002. (الشكل من

[www.cpc.ncep.noaa.gov/ products /](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/)

(Forecastions / 90day / SSTs). إلى اليمين:

توزيع شذوذ SST (درجة حرارة سطح البحر) بناءً على

نموذج مناخ عالمي مقترن (الشكل مأخوذ من

<http://grads.iges.org/ ellfb / Jun02 / pierce>

(./ fig1.gif) [21].

# الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

### 1-II النمذجة :

بالنسبة لمصطلح النمذجة فإنه يُشير إلى عملية تمثيلٍ منطقيٍّ أو ماديٍّ أو رياضيٍّ لنموذجٍ ما مُتضمناً طريقة بنائه وعمله، بحيث يُشبه نظاماً حقيقياً وذلك لمساعدة الاختصاصيين على توقع الآثار الناتجة عن التغييرات التي ستحدث على النظام، بمعنى آخر النمذجة هي إنشاء نموذجٍ يُحاكي النظام مع كافة خصائصه. [22]

أما النمذجة الرياضية هي "تطبيق الرياضيات في معالجة مشاكل واقعية في الحياة أو مشاكل في الرياضيات نفسها أو مشاكل في علوم أخرى، وذلك عن طريق تحويل المشكلة الحياتية إلى مسألة رياضية ثم التعامل مع هذه المسألة وحلها، واختيار أفضل الحلول والذي يتناسب مع طبيعة المشكلة التي نعالجها ومن ثم التعميم والتنبؤ إن أمكن ذلك". النمذجة ترتكز أساساً على مشكلة من الواقع ونحن نعمل جاهدين على إيجاد حلٍ لهذه المشكلة. لكن تنتج لدينا عقبة أخرى حيث نواجه في أغلب الأحيان صعوبة في إيجاد حلٍ مباشرٍ للمشكلة الواقعية هذا ما يحيجنا للبحث عن طريق أخرى من أجل حلها فنتجه للتعبير الرياضي، وهذا التعبير الرياضي يجب أن يكون موجود ضمن إطار عمل معين ونقوم ببناء النموذج الرياضي باستخدام التعبير الرياضي وبيئة الحلّ معاً. ويتم العمل على النموذج وإيجاد الحلّ الرياضي وبالتالي الحلّ الواقعي [23].

### 2-II النمذجة الرياضية للمناخ و البيئة الصحراوية :

#### 1-2-II-1-2-II - تلوث غلاف الجوي :

مشكلة تلوث الهواء ليست حديثة المنشأ. بدأت في وقت مبكر من القرن الرابع عشر ، عندما بدأ الفحم يحل محل الخشب كمصدر أساسي للطاقة. [24]

ومع ذلك فإن الارتفاع المقلق في حوادث تلوث الهواء المرتبط بالغازات السامة العرضية والإطلاقات الإشعاعية في مطلع القرن التاسع عشر وتدهور جودة الهواء البيئي بسبب التصنيع والتوسع الحضري ، والمخاطر المتزايدة لتغير المناخ المرتبط على المدى الطويل تركت أثراً ضاراً على الغلاف الجوي.

يمكن اعتبار عملية تشتت ملوثات الهواء بالمعنى الواسع بمثابة النتيجة الصافية للآليات المختلفة المشاركة في نقل ملوثات الهواء من المصدر إلى المستقبل. الآليات الرئيسية هي: (1) تأخر الملوثات عن طريق حركة الهواء ، (2) خلط الملوثات عن طريق الاضطرابات الجوية و (3) الانتشار الجماعي بسبب تدرجات التركيز. بالإضافة إلى ذلك ، فإن الطبيعة الكيميائية والفيزيائية (أي التحويل و الإزالة) للنفائات السائلة ، وموقع المكس وطبيعة التضاريس في اتجاه الرياح من المكس ، تؤثر على تشتت الملوثات .

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

يتأثر تشتت الملوثات في الطبقة الحدودية للكواكب (PBL) بشكل كبير باستقرار الغلاف الجوي بالقرب من السطح حيث تصبح بنية الطبقة الحدودية والتشتت المصاحب لملوثات الهواء معقدًا مع درجة استقرار الرياح وضعفها. وهنا نصف بإيجاز الجوانب المختلفة المتعلقة بتشتت ملوثات في الطبقة الحدودية.

### II-2-1-1 مقاييس التشتت المختلفة :

هناك عدة ظواهر في الغلاف الجوي مثل نفث الدخان المنتشر أو المطر الحمضي أو تغير المناخ المرتبط بتراكم ثاني أكسيد الكربون. كل واحد من هؤلاء يشمل طولًا مميزًا للمكان وفاصل زمني تسمى مقاييس المكان والزمان لحركة الظواهر المدروسة. يمكن أن تنتشر ملوثات الهواء المنبعثة من المصدر على نطاق واسع من المقاييس اعتمادًا على مدة الإطلاق وكمية الإطلاق وارتفاع الإطلاق وحالة الغلاف الجوي أثناء النقل وما إلى ذلك. التمييز الأولي بين نطاقات النقل المختلفة لظواهر تلوث الهواء على النحو التالي (ZANNETTI , 1990):

1. ظواهر المجال القريب (أقل من كيلومتر واحد من المصدر) ؛ على سبيل المثال ، آثار الغسل السفلي للعمود الناجم عن الديناميكا الهوائية للبناء.
2. النقل قصير المدى (أقل من 10 كيلومترات من المصدر) ؛ على سبيل المثال ، المنطقة التي يوجد فيها بشكل عام أقصى تأثير على مستوى الأرض للملوثات الأولية من مصدر مرتفع.
3. النقل الوسيط أو النقل المتوسط (بين 10 كيلومترات و 100 كيلومتر) ؛ على سبيل المثال ، المنطقة التي قد تصبح فيها الخواص الكيميائية والفيزيائية للملوثات مهمة
4. بعيد المدى (أو النقل الإقليمي أو بين الولايات 100 > كيلومتر) ؛ على سبيل المثال ، المنطقة التي تلعب فيها تأثيرات الأرصاد الجوية ومعدلات الترسيب والتحويل أدوارًا رئيسية.
5. التأثيرات العالمية ؛ أي الظواهر التي تؤثر على الغلاف الجوي للأرض بأكمله ؛ على سبيل المثال ، تراكم ثاني أكسيد الكربون.

### II-2-1-2 النماذج الرياضية :

تشير نمذجة التشتت الجوي إلى الوصف الرياضي للملوثات المنقولة في الغلاف الجوي.

يستخدم مصطلح التشتت في هذا السياق لوصف مجموعة التشتت (بسبب حركة الدوامة المضطربة) والتأفق (بسبب الرياح) الذي يحدث في الهواء بالقرب من سطح الأرض. يمكن بالتالي وصف تركيز الملوث الذي يتم تصريفه في الهواء بواسطة معادلة التأفق والانتشار وهي معادلة تفاضلية جزئية من الدرجة الثانية من النوع المكافئ.

في سياق فرضية التخفيف ، فإن تطور تركيز الأنواع  $X_i$  يتبع نظامًا من المعادلات التفاضلية الجزئية التي قدمها

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \text{div}[V(x, t)c_i] = \text{div}[c, T(x, t), t] + S_i(x, t) \quad \dots \dots (II. 1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C, \bar{u}) = \nabla \cdot (K, \nabla C) + P \quad \text{او}$$

حيث تشير  $x$  و  $t$  على التوالي إلى إحداثيات المكان والزمان ، فإن  $C$  هي متجه تركيزات الأنواع (معرفة بـ  $i$ ) ، في عدد المولات أو الجزيئات أو الكتلة بالنسبة للحجم.

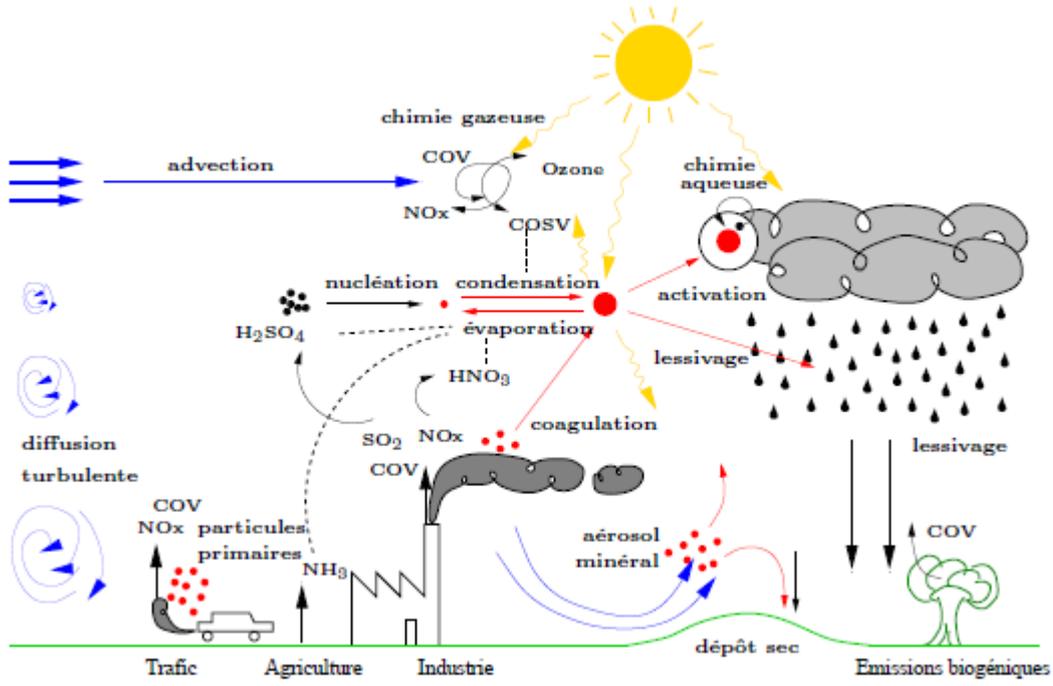
$V(x, t)$  هو مجال سرعة المائع ، و  $Kmolec$  عبارة عن مصفوفة الانتشار الجزيئي ( بداهة ليست قطرية ، بسبب الانتشار بين الجزيئات  $T(x, t)$  هو مجال درجة الحرارة.

$S_i(x, t)$  هو المصطلح المصدر للأنواع  $X_i$  ، التي تمثل الانبعاث من خلال مصدر نقطة عند الاقتضاء.

في حالة الغلاف الجوي (الشكل III.5) ، يتوافق هذا عادةً مع الانبعاثات من خلال مكبس المصنع ، في الحالة الهيدرولوجية ، إلى مخرج الأنبوب.

في الأخير تكون المعادلة السابقة صالحة فقط في حالة سائل غير قابل للضغط (كثافة  $\rho$  ثابتة). في الحالة العامة ، نفي كثافة المائع الحامل بمعادلة الاستمرارية

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho V) \quad \dots \dots (II. 2)$$



الشكل II-1: العمليات الموصوفة في نموذج النقل الكيميائي.

## II-2-1-3-1- شروط الحدودية :

ترتبط معادلة التآفق والانتشار والتفاعل هذه بشروط أولية وشروط حدودية. دعونا نوضح شروط الحدود الكلاسيكية التي نواجهها في حالة الغلاف الجوي.

ترقى الفرضية المعتادة إلى اعتبار أن ظاهرة التآفق بالرياح هي السائدة أفقياً بينما يسود الانتشار المضطرب ظواهر النقل العمودي .

وبالتالي ، فإن شروط الحدود الجانبية هي الشروط الحدودية الكلاسيكية للمشكلات القطعية (الرياح الواردة) ، في حين أن الظروف على الأرض وفي الجزء العلوي من المجال المعتبرة هي التالية ، بتعيين الإحداثي الرأسي

1. على الأرض ( $z = 0$ ) ،

$$-K_{turb}(x, t) \frac{\partial c_i}{\partial z} = E_i(x, t) - v_{dep}^i c_i \quad \dots (II.3)$$

$E_i(x, t)$  هو مصطلح الانبعاث السطحي للأنواع  $X_i$ : يعتمد على نوع السيناريو. انبعاث مختار (ريفي ، حضري ، إقليمي) ويتضمن جزءاً من أصل بشري مرتبط بحركة المرور على الطرق وجزءاً من أصل طبيعي

$v_{dep}^i$  يتوافق مع معدل الترسيب الجاف ويتم تحديده ، حسب الأنواع الكيميائية ، اعتماداً على الظروف الجوية في الطبقة الحدودية ونوع التربة لكل نوع من أنواع التربة المقابلة لخشونة

2. عند الحد الأعلى للمجال ( $z = Z_H$ ) ،

$$-K_{turb}(x, t) \frac{\partial c_i}{\partial z} = 0 \quad \dots (II.4)$$

هذا يعكس حالة الجو المعتادة. في سياق الغلاف الجوي ، يُشار عادةً إلى النماذج التي تحل معادلات التشتت التفاعلي باسم نماذج النقل الكيميائي.

## II-2-1-3-ب- تصنيف العمليات

### 1. التقارب (التأفق) :

تعطى المعادلة التأفق بمجال السرعة  $V$

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + div[(x, t)c_i] = 0 \quad \dots (II.5)$$

تنتمي هذه المعادلة إلى فئة المسائل الزائدية الخطية. لحقل سرعة ثابتة ، لمشكلة بدون شرط حد  $(x \in R)$  ، من السهل التحقق من أن الحل هو :

$$c(x,t)=c(x-Vt,0) \quad \dots(II.6)$$

النقطة الأساسية المرتبطة بهذه الأنظمة هي بالطبع سرعة انتشار المعلومات (المرتبطة بمجال السرعة  $V$ ).

### 2. الانتشار :

يتم إعطاء معادلة الانتشار المضطرب (لكثافة ثابتة  $\rho$ ) بواسطة المعادلة

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = div(K_{turb} \nabla c_i) \quad \dots (II.7)$$

تعني خصائص هذه المعادلة (حرف "التجانس") أن تكاملها ليس ، بشكل عام ، مشكلة رقمية في حد ذاته. بالنسبة لمشكلة بدون شرط حد  $(x \in R)$  ، يتم حساب الشرط الأولي بواسطة الحل

$$C(x,t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi K_{turb}t}} \int_{-\infty}^{+\infty} c(y,0) \exp\left(-\frac{(x-y)^2}{4K_{turb}t}\right) dy \quad \dots (II.8)$$

يوضح شكل هذا الحل الطبيعة المتجانسة للانتشار.

### 3. ردة الفعل :

توصف التفاعلات الكيميائية بنظام المعادلات التفاضلية العادية

$$\frac{dc_i}{dt} = X_i[c, T(x, t), t], c_i(0) = c_i^0 \geq 0 \quad \dots (II.9)$$

الحل ينفجر في وقت محدود ، مع

$$c_i(t) = \frac{c_i^0}{1 - \lambda t c_i^0} \quad \dots \dots (II.10)$$

أخيراً ، تجدر الإشارة إلى أن عمليات التآفق والانتشار لا تفرن الأنواع الكيميائية.

بمعنى آخر ، يمكن حل هذه العمليات بالتوازي على جميع الأنواع .على العكس من ذلك ، فإن مصطلح الأزواج التفاعلية أنواع ولكن يمكن حلها بالتوازي على "المواقع المكانية".

على سبيل المثال ، بالنسبة للحالة الخطية  $\chi_i(c) = -\lambda c_i$  (مع  $0 < \lambda$  في الاستمرارية) ، يحصل المرء على

$$c_i(t) = \exp(-\lambda t) c_i^0 \quad \dots (II.11)$$

وبالمثل ، بالنسبة للحالة التربيعية  $\chi_i(c) = -\lambda c_i^2$  ، يكون الحل

$$c_i(t) = \frac{c_i^0}{1 + \lambda t c_i^0} \quad \dots \dots (II.12)$$

## II-2-2- التلوث في التربة

أو تلوث الأراضي (بالإنجليزية: Land Pollution) أحد أنواع التلوث الرئيسية في البيئة، وعموماً تستطيع ملوثات المياه نفسها أن تتسبب في تلويث التربة أيضاً، وللممارسات البشرية دور كبير في التسبب بهذا النوع من التلوث.

تعتبر دراسة النقل الكيميائي في التربة مهمة لعدد من الأسباب. بعض المواد الكيميائية مهمة لأنها مطلوبة للتربة وصحة النبات (مثل المغذيات الدقيقة). قد تكون المواد الكيميائية الأخرى شديدة السمية خاصة إذا كانت موجودة بتركيزات عالية. تصبح المادة الكيميائية ملوثة إذا تجاوز تركيزها بعض نوعية المياه الموصوفة قياسياً ، أو إذا تم إعاقة استخدام مفيد للمياه وإذا كان السبب ناتجاً عن النشاط البشري فإن دراسة مصير المواد الكيميائية والتلوث الكيميائي في التربة أمر حيوي بالنسبة لإستدامة الإنتاجية الزراعية ومنفعة الأراضي. [25]

الملوثات في التربة معقدة بسبب الاختلافات المكانية والزمانية غير العشوائية المكونات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة (Parlange & Hill, 1972؛ Stagnitti, 1972؛ Stagnitti, 1995؛ بارلانج وآخرون 1996؛ Stagnitti وآخرون. 1995). أحد مظاهر المكانية وعدم التجانس الزمني في التربة هو ظاهرة التدفق التفضيلي ، وهو مصطلح عام مستخدم لوصف مجموعة متنوعة من عمليات التدفق غير المتوازنة الفيزيائية والكيميائية.

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

### II-2-2-أ- معادلة الحمل الحراري

يمكن أن تتبع المواد الكيميائية التي تحملها المياه في التربة وعليها مجموعة متنوعة من المسارات. في أبسط الحالة ، يحدث الحمل الحراري أحادي البعد والذي يمكن أن يصاحبه تشتت ، الامتزاز والتفاعل الكيميائي. وصف نقل الملوثات من حيث يظل متوسط سرعة الماء ،  $v$  ، بواسطة معادلة تشتت الحمل الحراري هو الأول و معادلة النقل الأساسية التي يتعين النظر فيها. في أبسط صورها ، تركيز  $a$

يمكن وصف مادة كيميائية تتحرك في بعد واحد في اتجاه  $x$  ، من خلال ما يلي معادلة،

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D \frac{\partial c}{\partial x} \right] - f - \frac{\partial ca}{\partial x} \dots \dots \dots (13. II)$$

حيث  $v$  هو متوسط سرعة الماء ،  $D$  هو التشتت ،  $ca$  تركيز المادة الكيميائية الممتزة و  $f$  هو معدل تفاعل غير القابل للعكس. بشكل عام ، يمكن أن تكون  $v$  و  $D$  و  $f$  و  $ca$  دوال معقدة لـ  $c$  و  $x$  و  $t$ . وبالتالي لا يوجد حل تحليلي بسيط "دقيق" لجميع الحالات. عندما تكون  $f$  دالة خطية لـ

$$ca = (R - 1)c \text{ و } v \text{ ثابتة و } D \text{ و } c$$

حيث  $R$  هو عامل التخلف (ثابت مفترض) ، ثم معادلة (13. II) خطي مع معاملات ثابتة. في هذه الحالة يمكن الحصول على العديد من الحلول الدقيقة ، على سبيل المثال باستخدام تحويلات لابلاس. قدم ( van Genuchten and Alvers ) (1982) العديد من الحلول الدقيقة لـ المعادلة (13. II) ذات معاملات ثابتة لمجموعة متنوعة من الشروط الحدودية والأولية.

### II-2-2-ب آثار شروط الحدود :

في تجربة عملية نموذجية تتضمن عمودًا بطول محدود  $L$  ، يجب تحديد شروط الحدود عند  $x = 0$  و  $x = L$  عند  $x = 0$  ، اعتمادًا على طريقة الحقن ، سيتم فرض  $c$  ، على سبيل المثال إذا تم دفع الماء بتركيز ثابت ، فإن تدفق المادة التي تدخل العمود يكون ثابتًا ، أو :

$$C_f = C - \left( \frac{D}{v} \right) \frac{\partial C}{\partial x} = C_0 \text{ و } x = 0 \dots \dots \dots (14. II)$$

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

حيث يسمى  $C_f$  بتركيز التدفق (فان غونشتغ و باركر 1984 . كريفت و زوبر 1986-1978) ويسمى  $C$  بعد ذلك التركيز "المقيم". ومن المثير للاهتمام عندما المعادلة (13.II). خطي مع معاملات ثابتة ، ثم يتبع  $C_f$  معادلة مماثلة مع كون الشرط الحدي لـ  $C_f$  أبسط من  $C$  عند  $x = 0$  قد تكون الحالة الأولية القياسية

$$t = 0 \quad \text{و} \quad C = C_f = 0 \quad \dots\dots(15.II)$$

تمثل حالة الحدود عند  $x = L$  يجد بعض الصعوبات. (بارلانجي ومساعديه 1992) إذا كان الانقطاع في  $C$  غير مسموح به في نهاية العمود ولم يكن هناك تشتت ، فإن  $C = C_f$  عند  $x = L$  أو

$$x = L \quad \text{و} \quad \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots(16.II)$$

وهذا صحيح طالما أن رقم  $Péclet P_{e=VL/D}$  ليس صغيرا جدا ، على سبيل المثال 4 على الأقل أو أكثر .يتم العثور على أعداد  $Péclet$  على الأقل 4 بشكل شائع باستثناء عندما تكون  $macropores$  على سبيل المثال توجد شقوق في العمود ويسيطر على التشتت "الفعال" من خلال الانتشار بين الشقوق ومصفوفة التربة المحيطة بها .في هذه الحالة،

$P_{e>4}$  يمكن عرضها ، التي تأخذ  $f_c$  كحل لعمود شبه لانهائي  $C_{f\infty}$  أي  $L \rightarrow \infty$  يؤدي إلى  $C$  ، من تعريف  $f_c$  في المعادلة (14.II) ، والتي ترضي المعادلة (13.II). مع وجود خطأ في النظام  $1 \ll \exp(-p)$  . على سبيل المثال أخذ  $f = 0$  وقياس الوقت بواسطة  $R$  ، لعمود شبه لانهائي ،

$$\frac{2C_f}{C_0} = \operatorname{erfc} \left[ \frac{x-tv}{\sqrt{4Dt}} \right] + \exp \left[ \frac{vx}{D} \right] \operatorname{erfc} \left[ \frac{x+tv}{\sqrt{4Dt}} \right] \quad \dots\dots(17.II)$$

ثم المعادلة (14.II) تعطي

$$C = C_{f\infty} + C_0 \exp(vx/D) \left\{ \operatorname{erfc} \left( \frac{l+tv}{\sqrt{4Dt}} \right) - \frac{v}{D} \sqrt{Dt} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \frac{-(L+tv)}{4Dt} - \frac{l+tv}{\sqrt{4Dt}} \operatorname{erfc} \left( \frac{l+tv}{\sqrt{4Dt}} \right) \right] \right\} \\ + \exp \frac{vx}{D} \left\{ -\operatorname{erfc} \frac{x+tv}{\sqrt{4Dt}} + \frac{v}{D} \sqrt{Dt} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \frac{-(x+tv)^2}{4Dt} \right] \right\} \dots\dots(18.II)$$

مشتق من الحل العام للمعادلة (14. II)

$$C = C_{f\infty} + \exp \frac{vx}{D} \int_X^L \frac{\delta C_{f\infty}}{\delta x} \exp \frac{-v\bar{x}}{D} d\bar{x} \quad (19. II)$$

تعطي المعادلة (18. II) عندما تحمل المعادلة ( ) 17. II من الملائم تعريف  $C_{\infty}$  على أنه حل لـ  $C$  عندما  $L \rightarrow \infty$ ، ثم نحصل عليها مرة واحدة.

$$C = C_f + \exp \frac{v(x-L)}{D} [C_{f\infty}(x=L) - C_{\infty}(x=L)] \quad (20. II)$$

غالبًا ما تكون المعادلة (20. II) مفيدة في الدراسة عندما تكون  $C_{f\infty}$  و  $C_{\infty}$  معروفة. على سبيل المثال للخواص الحركية من الدرجة الأولى والصفير (أي ثابت  $f$  أو يتناسب مع  $C$ )،  $C_{f\infty}$  و  $C_{\infty}$  تم تأسيسها في شكل مغلق 1982 Parlange et al (، 1992؛ Parlange and Starr، 1878؛ van Genuchten and Alves، 1982) وتعطي تعبيرًا بسيطًا لـ  $C$ ، مع وجود خطأ طفيف لأن  $C_f$  لا تساوي تمامًا  $C_{f\infty}$ . على وجه الخصوص عند  $x = L$ ، يتم الحصول على منحنى الاختراق بكل بساطة بواسطة

$$C_f(x=L) - C(x=L) \approx C_{f\infty}(x=L)$$

### II-2-3- التلوث المائي :

يعد تلوث المياه مشكلة رئيسية في العديد من البلدان، يموت ما يقرب من 25 مليون شخص نتيجة لتلوث المياه. تطوير نماذج تمكننا من الفهم كيفية التحكم في جودة المياه والتنبؤ بها أمر مهم للغاية. حيث ظهر النموذج الشهير لسرينتر وفيلبس الذي يصف توازن الأكسجين المذاب في الأنهار. بعد ذلك تم تعديل هذا النموذج بطرق مختلفة. كان الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو التحقيق في التخفيف من التلوث. [26]

❖ تعريف بالعناصر الموجودة في المعادلة المدروسة :

$L$  هو طول النهر الملوث ( $m$ )

$D_p$  هو معامل تشتت الملوثة في اتجاه  $x(m^2 day^{-1})$

$D_x$  هو معامل تشتت الأكسجين المذاب في الاتجاه  $x(m^2 day^{-1})$ ، يعتبر هو نفسه  $D_p$

$v$  هي سرعة الماء في الاتجاه  $x(m.day^{-1})$

$A$  هي منطقة المقطع العرضي للنهر ( $m^2$ )

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

q هو معدل إضافة الملوثات على طول النهر ( $kg.m^{-1}.day^{-1}$ )

K1 هو معامل معدل التحلل عند 20 درجة مئوية للمادة الملوثة ( $day^{-1}$ )

K2 هو معامل معدل إزالة الهواء عند 20 درجة مئوية للأكسجين المذاب ( $day^{-1}$ )

k هو تركيز الطلب على الأكسجين نصف المشبع لتحلل الملوثات ( $kg.m^{-3}$ )

$\alpha$  هو انتقال كتلة الأكسجين من الهواء إلى الماء ( $m^2.day^{-1}$ )

S هو تركيز الأكسجين المشبع ( $kg.m^{-3}$ )

قمنا بنمذجة التدفق في النهر على أنه أحادي البعد ، باستخدام معلمة مكانية واحدة  $x(m)$  لوصف المسافة أسفل النهر من منبعه. الكميات ، مثل تركيزات الملوثات أو الأكسجين ، مسموح فقط بالتغير مع بعضها طول النهر ويتم التعامل معها على أنها متجانسة عبر المقطع العرضي للنهر. هذا الافتراض له ما يبرره من خلال استيفاء معيار دوبينز [6]. في الوقت الحاضر نسمح بالتغير مع الوقت  $t$  (أيام) ؛ ومع ذلك ، في الأخير جزء من العمل نركز على البحث عن حلول الحالة المستقرة ولذا فإننا نتخلى عن الاعتماد على الوقت. نحن نستخدم واحدة كمية لقياس تلوث المياه ، والتركيز  $P(x,t)[kg.m^{-3}]$  ، الأكسجين المذاب داخل النهر له تركيز  $X(x,t)[kg.m^{-3}]$ . هذه الكمية الأخيرة ضرورية لبقاء المجتمعات الهوائية التي تعيش في الأنظمة المائية وأيضاً للمعالجة المحتملة لبعض الملوثات غير المرغوب فيها عن طريق الأكسدة.

يتكون نموذجنا من معادلتين (21.II - 22.II) للثشت التفاضلي المقترن حيث هذه المعادلات تفسر تطور الملوثات و تركيزات الأكسجين المذاب على التوالي. معدلات تغير التركيز مع الموضع يتم التعبير عن  $x$  والوقت  $t$  ك:

$$\frac{\partial(AP)}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2(AP)}{\partial x^2} - \frac{\partial(vAP)}{\partial x} - K_1 \frac{X}{X+k} AP + qH(x), \quad (x < L \leq \infty, t > 0) \dots (21. II)$$

$$\frac{\partial(AX)}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2(AX)}{\partial x^2} - \frac{\partial(vAX)}{\partial x} - K_2 \frac{X}{X+k} AP + \alpha (S - X), \quad (x < L \leq \infty, t > 0) \dots (22. II)$$

حيث  $H(x)$  هي وظيفة Heaviside

$$H(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

هذه المعادلات هي القياسية وتم تطويرها في chapra (هو برنامج يقوم بدراسة تلوث المائي). تتضمن المعادلة الأولى كلاً من إضافة الملوث بمعدل  $qH(x)$  ، و الخاص به الإزالة عن طريق الأكسدة. تم تقسيم النهر إلى قسمين: المنبع  $x < 0$  بالقرب من المصدر ، حيث يفترض أنه لا يوجد تلوث مضاف ، والمصب  $0 < x < L$  حيث يضاف التلوث بمعدل  $q$ . من أجل التبسيط ، فإن إضافة الملوثات ، والتي هي بدقة دالة للوقت والموقع ، سيتم اعتبارها ثابتة على طول الجزء السفلي من النهر. المعادلة الثانية عبارة عن توازن كتلة للأكسجين المذاب ، مع الإضافة عبر السطح بمعدل يتناسب مع درجة تشبع الأكسجين المذاب  $(s-x)$  ، والاستهلاك أثناء أكسدة الملوث.

تم وصف معدل استنفاد تركيز الملوث  $P$  نتيجة التفاعل البيوكيميائي مع الأكسجين المذاب .باستخدام مصطلح " Michaelis Menten "  $(-K_1 \frac{X}{X+k} AP)$  يتيح هذا المصطلح إزالة التلوث بمعدل يتناسب فقط مع تركيز التلوث عندما تكون مستويات الأكسجين عالية .ومع ذلك ، عند المستويات المنخفضة من الأكسجين ، يجب أن يكون التفاعل أيضاً متناسباً مع تركيز الأكسجين ، كما هو مسموح به أيضاً في هذا المصطلح .في المعادلة الثانية ، تختلف معاملات مصطلح استنفاد تركيز الأكسجين المذاب المقابل بسبب اختلاف أوزان الأكسجين والملوثات المشاركة في التفاعل.

لتبسيط المعادلات ، قمنا بتعيين قيم منطقة المقطع العرضي للنهر  $A$  ، سرعة مجرى النهر  $v$  ، معدل إضافة الملوث  $q$  ، معدل نقل الأكسجين عبر سطح النهر  $\alpha$  ، وتركيز الأكسجين المشبع ، ومعدلات تشتت الملوثات والأكسجين المذاب ،  $D_x$  و  $D_p$  ، على التوالي ، لتكون ثابتة.

من الآن فصاعداً ، سننظر فقط في حلول الحالة المستقرة ، والتي يختفي فيها الجانب الأيسر من المعادلات (21.ii) و (22.ii). بالنسبة إلى هذه ، يكون الاختلاف الوحيد هو المسافة في اتجاه مجرى النهر ، ولذا نكتب

$$P(x,t) = P_s(x) \text{ و } X(x,t) = X_s$$

### II-3- الضواهر المؤثر على مناخ الصحراوي :

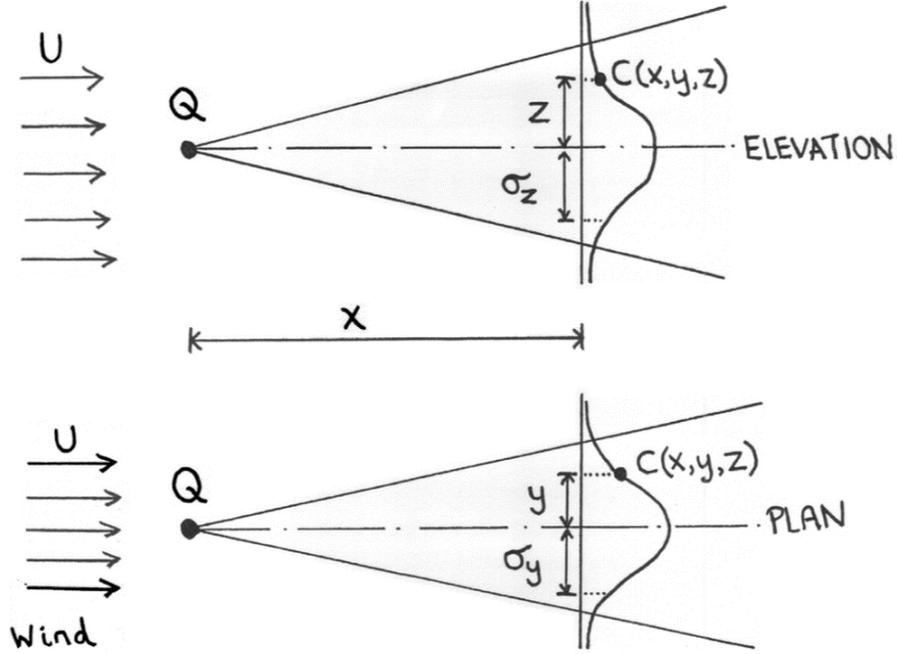
#### II-3-1 الرياح:

تعتبر الرياح من أهم عناصر المناخ المؤثرة على تشتت ملوثات الهواء ، وتعتمد على سرعتها واتجاهها .تتأثر معرفة سرعة واتجاه الرياح السائدة إلى حد كبير بارتفاعها ، فكلما زاد الارتفاع ، تقل عدد العوائق ، وبالتالي الحفاظ على نفس السرعة والاتجاه على عكس ارتفاعات الرياح المنخفضة حيث تتأثر الرياح بطبيعة الرياح .السطح والعوائق التي تواجه حركة الرياح مما يؤثر على سرعتها واتجاهها ، بحيث تتأثر حركة الرياح داخل المدينة بمورفولوجيتها ، خاصة على ارتفاع 2 متر ، وه و الارتفاع الذي عادة ما يتم التحكم فيه.[27]

لتفسير حركة الرياح ، نحتاج إلى وضع مصدر نقطي في مكان ما في الهواء حيث يتم إطلاق الملوث بمعدل ثابت  $Q$  (kg / s) تهب الرياح باستمرار في الاتجاه  $x$  تقاس بالأمتار انطلاقاً من المصدر ) بسرعة  $U$  ( m / s ) ينتشر العمود بالتحرك

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

في الاتجاه  $x$  بحيث تكون التركيزات المحلية  $C(x,y,z)$  في أي نقطة في الفضاء في شكل توزيعات " Gaussian " أو " عادية " في المستويات العادية نحو اتجاه  $X$ . [28].



الشكل 2-II: رسم تخطيطي يوضح حركة الرياح على مستوى  $y$  و  $z$  انطلاقاً من المصدر  $Q$ .

يتم إعطاء علاقة الانتشار وفق الاتجاه  $y$  على النحو التالي

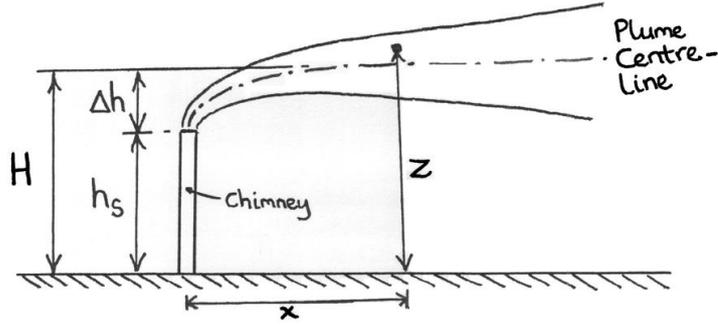
$$\frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)}$$

يتم إعطاء التركيز في جميع الحالات وفق المعادلة التالية

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{U} \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)} e^{\left(\frac{-z^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

ومنه فإن التركيز يساوي معدل الانبعاث من المصدر مقسوماً على سرعة الرياح ثم ضرب في دالة التشكيل.

يقيس هذا التوزيع  $y$  و  $z$  عادةً من المحور  $x$  (يمكن اعتبار المحور  $x$  أيضاً اتجاه الخط المركزي للعمود. وعملياً، عادةً ما يتم رفع المصدر فوق الأرض (على سبيل المثال الخروج من المدخنة) ومن هنا نحتاج إلى تعديل الإحداثي  $z$  بحيث يتم قياسه من الأرض.



الشكل II-3: رسم تخطيطي يمثل كيفية تحديد مصدر خروج من المدخنة.

$H$  = الارتفاع من الأرض الى المركز ( $m$ )

$h_s$  = ارتفاع المصدر فوق الأرض ( $m$ )

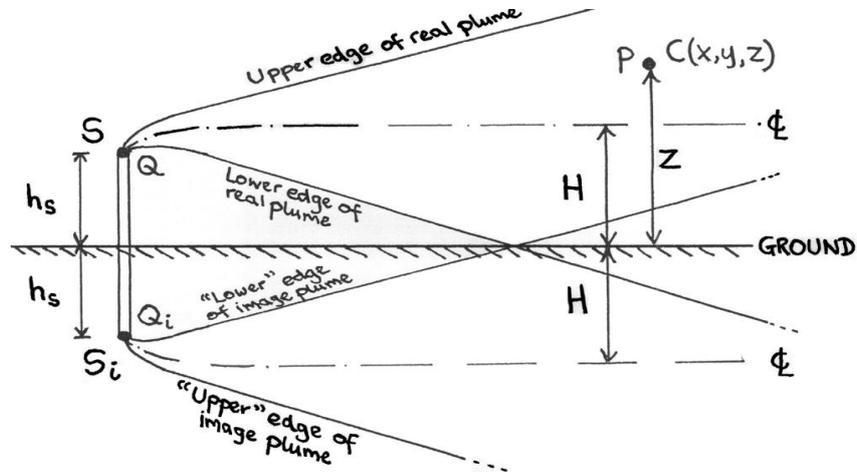
$\Delta h$  = ارتفاع العمود الأولي ( $m$ )

$z$  = الارتفاع من الأرض إلى نقطة في العمود ( $m$ )

ومنه يكون يكون الإحداثي الرأسي الجديد هو ( $z-H$ ) بالشكل التالي

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{U} \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)} e^{\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)} \quad (23. II)$$

هناك تعديل آخر يجب إجراؤه على هذه المعادلة .على عكس عمود ينتشر في الهواء الحر ، ستنبعث معظم الأعمدة بالقرب من الأرض ، مثل حالة المدخنة الموضحة أعلاه .ومن ثم ، عندما ينتشر العمود لأسفل ( وكذلك لأعلى ) أثناء تحركه في اتجاه الرياح من المصدر ، فإنه في النهاية " يضرب " الأرض .من الواضح أن العمود لا يمكنه الاستمرار في الانتشار في الأرض ! بدلا من ذلك ، " ينعكس " مرة أخرى في الهواء فوق الأرض .يتم تضمين تأثير حد الأرض في معادلة التركيز رياضياً باستخدام مصدر " صورة معكوسة " وهمي ( $S_i = S$ ) بنفس القوة ( $Q_i = Q$ ) يتم وضعه على نفس المسافة من الأرض ( $h_s$ ) ولكن على الجانب الآخر من الحدود



الشكل II.4: رسم تخطيطي يمثل المصادر الحقيقية و التخيلية للرياح.

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

ومن ثم ، في أي نقطة  $P$  هناك مساهمة في التركيز  $C(x,y,z)$  من كل من المصدر الحقيقي ( $S$ ) والمصدر التخيلي ( $Si$ ). المسافة العمودية إلى  $P$  من الخط المركزي للعمود الحقيقي هي  $(z-H)$ . المسافة العمودية إلى  $P$  من الخط المركزي للمصدر التخيلي هي  $(z+H)$ . المسافة الجانبية ( $y$ ) في الصفحة هي نفسها لكلا المصدرين.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{U} \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \left[ e^{\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)} + e^{\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)} \right] \quad (24.II)$$

إذا كانت التركيزات على مستوى الأرض فقط فيمكننا تبسيط المعادلة عن طريق ضبط  $z=0$

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{U} \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)} e^{\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)} \quad (25.II)$$

مع العلم أن الحد الأقصى للتركيز يكون عند

$$\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}} \quad (26.II)$$

على مسافات كبيرة من المصدر ، حيث  $\sigma_z$  أكبر بكثير من  $H$  ، يختلف التركيز بما يتناسب مع

$$1/(\sigma_y \cdot \sigma_z) \quad (27.II)$$

إذا كانت التركيزات على مستوى الأرض فقط على الخط المركزي للعمود (على طول اتجاه المحور الترتيب) المطلوبة، فسيتم تبسيط المعادلة بشكل أكبر نظرًا لأن كلاهما  $z=0$  و  $y=0$  ومنه تعطى بالعلاقة التالية حيث نكتب

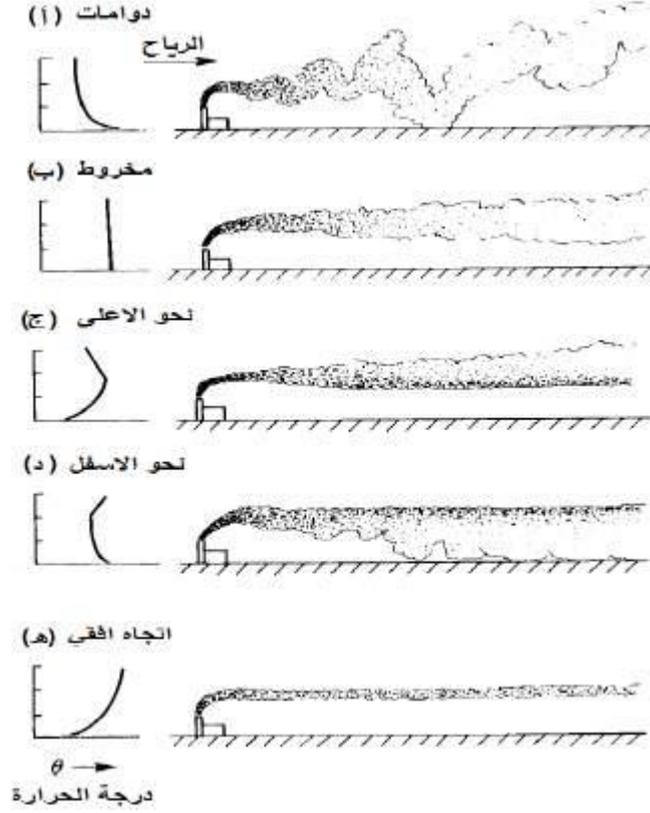
$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{U} \frac{1}{\pi\sigma_y\sigma_z} e^{\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)} \quad (28.II)$$

باستخدام المعادلة الأساسية ، إذا عرفنا معدل الانبعاث من المصدر ( $Q$ ) ، وسرعة الرياح السائدة ( $U$ ) والاتجاه ( $x$ ) وارتفاع الخط المركزي للعمود فوق الأرض ( $H$ ) ، فيمكننا تحديد التركيز ( $C$ ) في أي نقطة  $(x,y,z)$ . ومع ذلك ، للقيام بذلك ، نحتاج إلى معلومات حول انتشار العمود من خلال الحصول على قيم  $\sigma_y$  و  $\sigma_z$  .

هناك العديد من الصيغ والتعبيرات شبه التجريبية المتاحة لتحديد  $\sigma_y$  و  $\sigma_z$  في ظل ظروف مختلفة من الاستقرار الجوي . التقريب المعقول في المناطق القريبة من المصدر عندما يكون المصدر مرتفعًا فوق سطح الأرض (مثل أعلى المدخنة) هو

$$\sigma_y = I_y \cdot x \quad \text{و} \quad \sigma_z = I_z \cdot x$$

حيث  $I_y$  و  $I_z$  هما التقلبات المضطربة في سرعة الرياح (شدة الاضطراب) في الاتجاهين  $y$  و  $z$  ، على التوالي.



الشكل 5.11: رسم تخطيطي يمثل مسارات انتقال الرياح حسب درجة الحرارة الوسط. [27]

## II-3-2 الغبار الجوي

يختلف حجم الهباء الجوي من مائة ميكرون إلى بضع عشرات من الميكرونات. كلما زاد حجمها ، كلما كان وقت بقائها في الغلاف الجوي أقصر لأنها أكثر حساسية للترسيب الثقالي الذي يهيمن عليه وزن الجسم. تنبعث الهباء الجوي إما بشكل طبيعي أو نتيجة للنشاط البشري (الانبعاثات البشرية المنشأ). يمكن أن تكون المصادر مباشرة أو غير مباشرة من حيث أنه من الممكن أن تنشأ بعض الهباء الجوي من تكاثف غازات الغلاف الجوي. المصادر الطبيعية المباشرة الرئيسية هي البراكين ، وحرائق الكتلة الحيوية (حرائق الغابات) ، ورفع الغبار عن طريق الرياح على الأرض (أكثر أهمية في المناطق القاحلة) ، عن طريق تبخر مياه البحر من البحر. الرياح السطحية) والغطاء النباتي (حبوب اللقاح والجراثيم) ، إلخ. المصادر الطبيعية للهباء الجوي الثانوي الناتج عن التفاعلات الكيميائية القائمة على تحويل الطور الغازي إلى الطور الصلب الذي يحدث في الضباب والسحب. تتركز المصادر البشرية بشكل أساسي حول المنشآت الصناعية الثقيلة مثل المسابك وكذلك في المناطق ذات الكثافة السكانية (الحضرية) وتنتج إما عن التفاعلات الكيميائية الناتجة عن النشاط البشري ، عن طريق احتراق الوقود الأحفوري والكتلة الحيوية. وكذلك عن طريق حركة المرور (الغبار) . يلخص الجدول 2.1 المصادر المختلفة للهباء الجوي وتكوينها. [29]

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

الجدول II.1: مصادر انبعاثات الهباء الجوي

مصادر طبيعية		المصادر البشرية	
ابتدائي	ثانوي	ابتدائي	ثانوي
الغبار (الرياح على أرض جرداء)	الكبريتات من الغازات الحيوية	الغبار من حركة المرور والصناعة	كبريتات من ثاني أكسيد الكبريت الصناعي
أملاح البحر (الرياح على المحيط)	الكبريتات من ثاني أكسيد الكبريت من أصل بركاني	السخام (احتراق الوقود الأحفوري والكتلة الحيوية)	المواد العضوية الكربونية من VOC
الرماد البركاني	مواد عضوية كربونية من VOC (المركبات العضوية المتطايرة)	المواد العضوية الكربونية (احتراق الكتلة الحيوية)	النترات من أكاسيد النيتروجين NOx
المواد العضوية الكربونية (حرائق الغابات)	النترات من أكاسيد النيتروجين NOx	-	-
السخام (حرائق الغابات)	-	-	-

التركيب الكيميائي للهباء الجوي متغير للغاية ويعتمد على كل من التوزيع الجغرافي للمصادر وديناميات الغلاف الجوي. وبالتالي ، فإن تحديد نسبة الأنواع المختلفة من الهباء الجوي في مكان ووقت معين ليس بالأمر السهل. ومع ذلك ، فقد تم وضع عدد من النماذج لوصف متوسط تكوين مجموعة الهباء الجوي وفقاً لنوع البيئة. من بين هذه النماذج ، يظل عمل شيتل وفين 1979 مرجعاً صالحاً. يلخص الجدول 2.2 كل نموذج يصف تركيبة الأيروسول في المناطق الريفية والحضرية والبحرية والتروبوسفيرية ( $z < 2 \text{ km}$ ). لاحظ أن نموذج التروبوسفير هو إلى حد ما نفس النموذج الريفي ، والجسيمات الكبيرة أقل (يتم حذف  $r_2$ ).

## الفصل الثاني: نمذجة المناخ والبيئة للمناطق الصحراوية

الجدول 2.II: نموذج الهباء الجوي.

نموذج	$\chi_{SU}$	$\chi_{BC}$	$\chi_{SD}$	$\chi_{SS}$	$\eta_1$	$r_1$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\log(\sigma_1)$	$\eta_2$	$r_2$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\log(\sigma_2)$
ريفي (100%)	0,7	0	0,3	0	0,999875	0,027	0,35	0,000125	0,43	0,4
حضاري (100%)	0,56	0,2	0,24	0	0,999875	0,025	0,35	0,000125	0,4	0,4
البحري (100%)	0	0	0	1	1	0,16	0,4	0	-	-
تروپوسفار (z>2 km)	0,7	0	0,3	0	1	0,027	0,35	0	-	-

مقتبس من (Shettle and Fenn 1979) للرطوبة النسبية 0% (الجدولان 1 و 2). يشير الخطان 1 و 2 إلى الأسلوبين 1 و 2 لتوزيع حجم المعادلة 2.

في هذا الجدول  $\eta_1$ : مساهمة بالنسبة للتركيز الكلي للجسيمات في نمط متوسط نصف القطر  $r_1$

$\eta_2$ : المساهمة المتعلقة بالتركيز الكلي للجسيمات لوضع متوسط نصف القطر  $r_2$

$\sigma_1$  و  $\sigma_2$ : عرض توزيع الحجم المقابل

$\chi_{SU}, \chi_{BC}, \chi_{SD}, \chi_{SS}$ : تمثل المساهمات النسبية لكل نوع من الهباء الجوي لتركيز الجسيمات الكلي

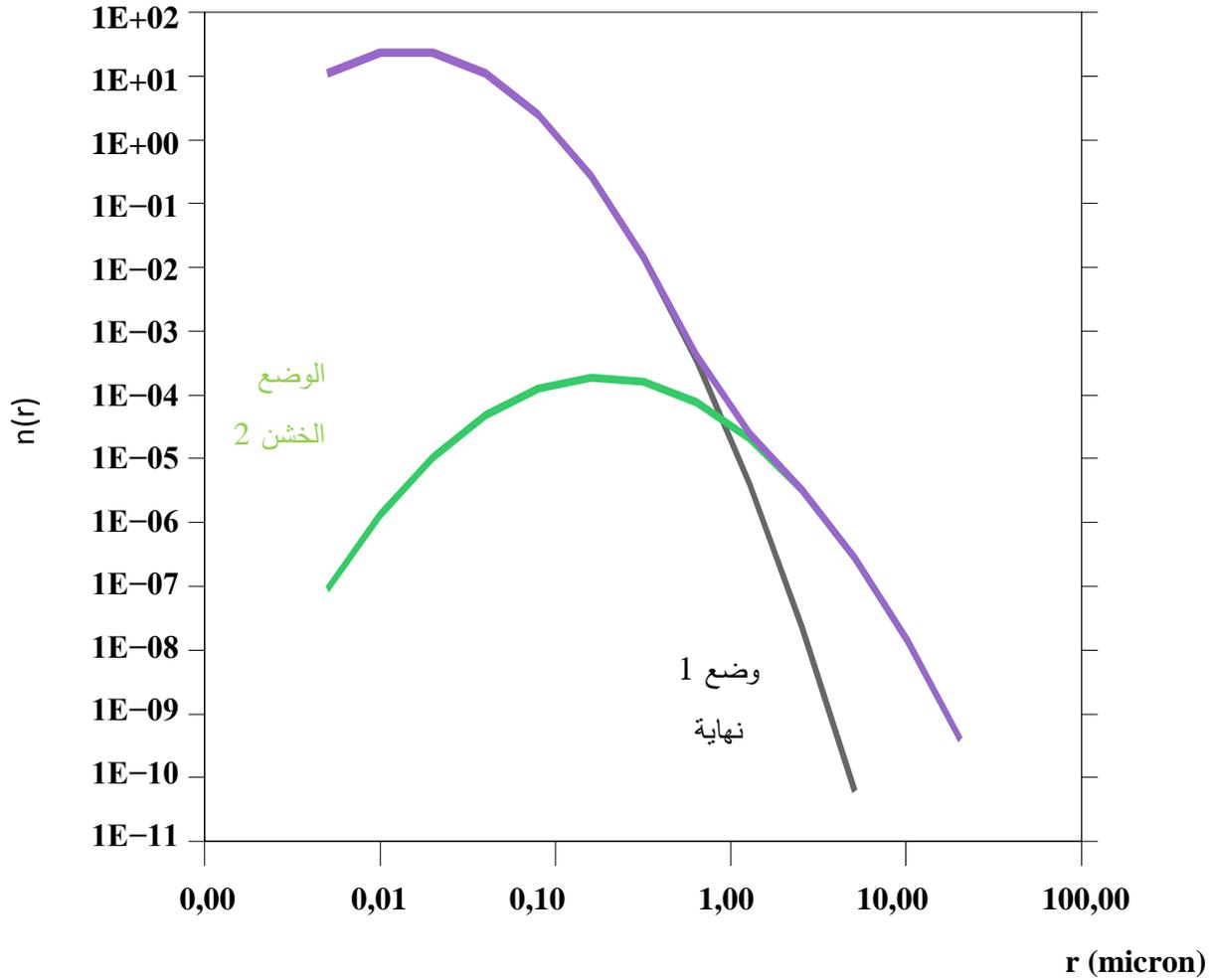
كما يتضح من العديد من حملات قياس الهباء الجوي، فإن توزيع حجم الهباء الجوي موصوف جيداً إلى حد ما من خلال التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي باستخدام العديد من المعلمات الموضحة أعلاه:

$$n(r) = \frac{d\rho(r)}{dr} = \rho_{tot} \sum_{i=1}^2 \frac{n_i}{\ln(10)r \log_{10}(\sigma_i) \sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{\log_{10}r - \log_{10}r_i}{2(\log_{10}\sigma_i)^2}\right) \quad \dots (29.II)$$

$r$  = نصف القطر الهندسي للجسيم

$\rho_{tot}$  = تركيز الجسيمات الكلي

هذا التوزيع ليس أكثر ولا أقل من التوزيع الطبيعي أو التوزيع الغوسي المعبر عنه بمقياس لوغاريتمي. يعطي الشكل (6.II) مثلاً لهذا النوع من التوزيع لنموذج Shettle and Fenn 1979 الريفي كما هو موضح في الجدول (2.II).



الشكل 6.11: توزيع الحجم ثنائي الشكل الطبيعي للنموذج الريفي لشينل وفين (1979)

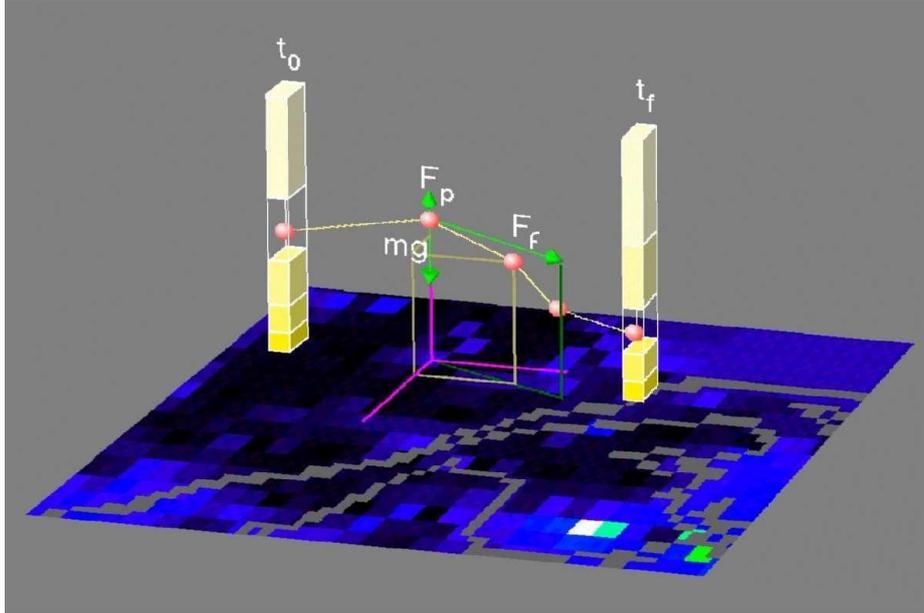
إن المظهر الرأسي للهباء الجوي متغير بدرجة كبيرة ، ولكن بشكل عام يتم احتواء معظم الهباء الجوي في أول كيلومترين من الغلاف الجوي. من المعتاد تمامًا اعتماد ملف تعريف متوسط للشكل الأسي المتناقص بمقياس ارتفاع يبلغ 2 كم. وغني عن القول أنه بالقرب من المصادر المهمة ، ينحرف المظهر الجانبي العمودي بشكل كبير عن هذا الملف الشخصي الأسي.

### 1-2-3-II ديناميات الهباء الجوي :

في السياق الذي يُعرف فيه دوران الغلاف الجوي (الرياح) على النحو المنصوص عليه في نموذج استيعاب بيانات الأرصاد الجوية (على سبيل المثال GEM من بيئة كندا) ، فمن السهل نسبيًا متابعة ديناميات الهباء الجوي في الواقع ، يمكن مقارنة الأخيرة مع المجالات الصغيرة (التتبع) المعرضة لقوة احتكاك السوائل مع الهواء ، لقوة الجاذبية ودفع أرخميدس. ليس من الضروري حساب قوة كوريوليس لأن هذا الحساب يستخدم لإنتاج الرياح ونظرًا لأن الجسيمات ستتبع بشكل أساسي حركة الرياح ، فإن هذا الحساب يشكل تصحيحًا من الدرجة الثانية. سوف نستكشف هنا بعض العناصر الضرورية لعمل نموذج نقل الهباء الجوي. [29]

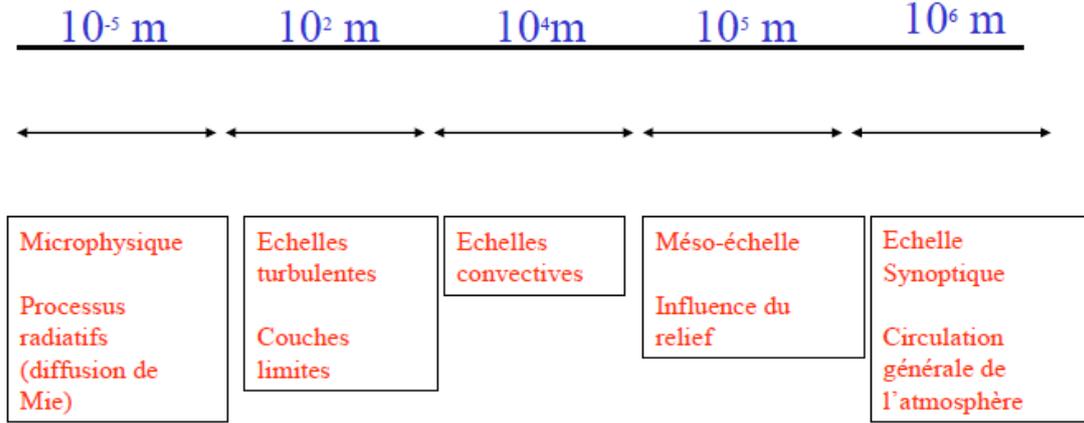
### II-3-2-2 الديناميكيات والحركية :

تعتمد حركة الكاشف على القوة الناتجة المطبقة عليه. الخطوة الأولى في تحديد مسار الراسمة هي تحديد هذه القوة الناتجة. ومع ذلك ، يمكننا بسهولة إثبات أن وقت استرخاء قوة احتكاك السوائل للجسيم المتحرك في الهواء منخفض جدًا مقارنة بخطوة الحساب المستخدمة عمومًا في النمذجة. يرقى هذا إلى القول بأن الجسيم يصل على الفور تقريبًا إلى سرعته القصوى الديناميكية الهوائية. في المستوى الأفقي ، يكون حد السرعة هذا مساويًا بشكل أساسي لسرعة الرياح من ناحية أخرى ، على المحور الرأسى ، يسمح وجود قوة الجاذبية بالفرق بين الحد الأقصى للسرعة الديناميكية الهوائية وسرعة الرياح الرأسية. [29]



الشكل II.7: تمثيل ديناميكية التتبع.

Des échelles dynamiques  
qui couvrent plusieurs ordres de grandeurs



الشكل 8.11: رسم تخطيطي يوضح المقاييس الديناميكية التي تعطي درجات

حيث يمثل الشكل (8.11) طرق تتبع انتشار الغبار حسب المسافة المقطوعة (حيث لكل مسافة مقطوعة طريقة خاصة بها).

**الفصل الثالث: محاكاة**

**ومناقشة النتائج**

### III-1- المحاكاة بالـ matlab :

تحليل وتصوير البيانات باستخدام تقنيات مثل الإحصاءات ومعالجة الإشارات ومعالجة الصور ورسم الخرائط. مع MATLAB، يمكنك بناء ومحاكاة نماذج من الأحداث البيئية الماضية والمستقبلية.

في هذه الدراسة ، استخدمنا ثلاثة صناديق أدوات من MATLAB: Toolbox أداة PDE أداة 'المعادلات التفاضلية الجزئية' <sup>TM</sup> ، لمعادلات الرسم البياني النموذجية ثلاثية الأبعاد ، توفر 'Symbolic Math Toolbox <sup>TM</sup>' أدوات لحل التعبيرات الرياضية الرمزية ومعالجتها وإجراء العمليات الحسابية ذات الدقة المتغيرة. تحتوي مجموعة الأدوات على المئات من وظائف MATLAB الرمزية التي تستغل محرك MuPAD لمهام مثل التفاضل والتكامل والتبسيط والتحويل وحل المعادلات.

### III-2- المناخ والبيئة ولغة البرمجة :

#### III-2-1- التلوث الجوي :

تعميم معادلة التآفق والانتشار في احادي البعد وثنائي البعد ، والتي تمثل ك :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C, \vec{u}) = \nabla \cdot (K, \nabla C) + P \quad \dots (1. III)$$

يمكن اختزالها إلى PDE ، مع العلم أن معادلات النموذج مبنية على أخذ ظروف سرعة الرياح ويتم حلها باستخدام طريقة الفروق المحدودة. تعطي نتائج محاكاة MATLAB فكرة تركيز ملف تعريف الملوث على طول إحداثيات X و Y للاتجاه الأفقي في فترات زمنية مختلفة.

ثم تم استخدام النموذج للتنبؤ بتركيز الملوثات في مناطق مختلفة ومقارنتها بالتركيز الملحوظ في مناطق مختلفة. في هذا المثال ، نحن مهتمون بنشر ونقل الجراثيم في الهواء ، (مثل الأبواغ البكتيرية أو حبوب لقاح الأزهار).

ندرس التوزيع الأفقي للتركيز على مساحة واسعة بافتراض أن الجراثيم تنتشر بشكل سلبي في الغلاف الجوي ولا تخضع إلا للجاذبية. في نموذج بسيط ، نفترض أن الانتشار  $v$  وسرعة النقل  $\beta$  هما ثابتا معروفة ونقوم بوصف الظواهر الفيزيائية المحلية المختلفة مثل الحمل الحراري على نطاق صغير وكذلك النقل الأفقي والانتشار الأفقي. تشير القيم  $x \geq 0$  إلى الوضع الأفقي ، (إن تركيز  $X$ )  $u$  (لـ الجراثيم عند التوازن هو محلول

$$-vu'' + \beta u' = 0, 0 < x < H$$

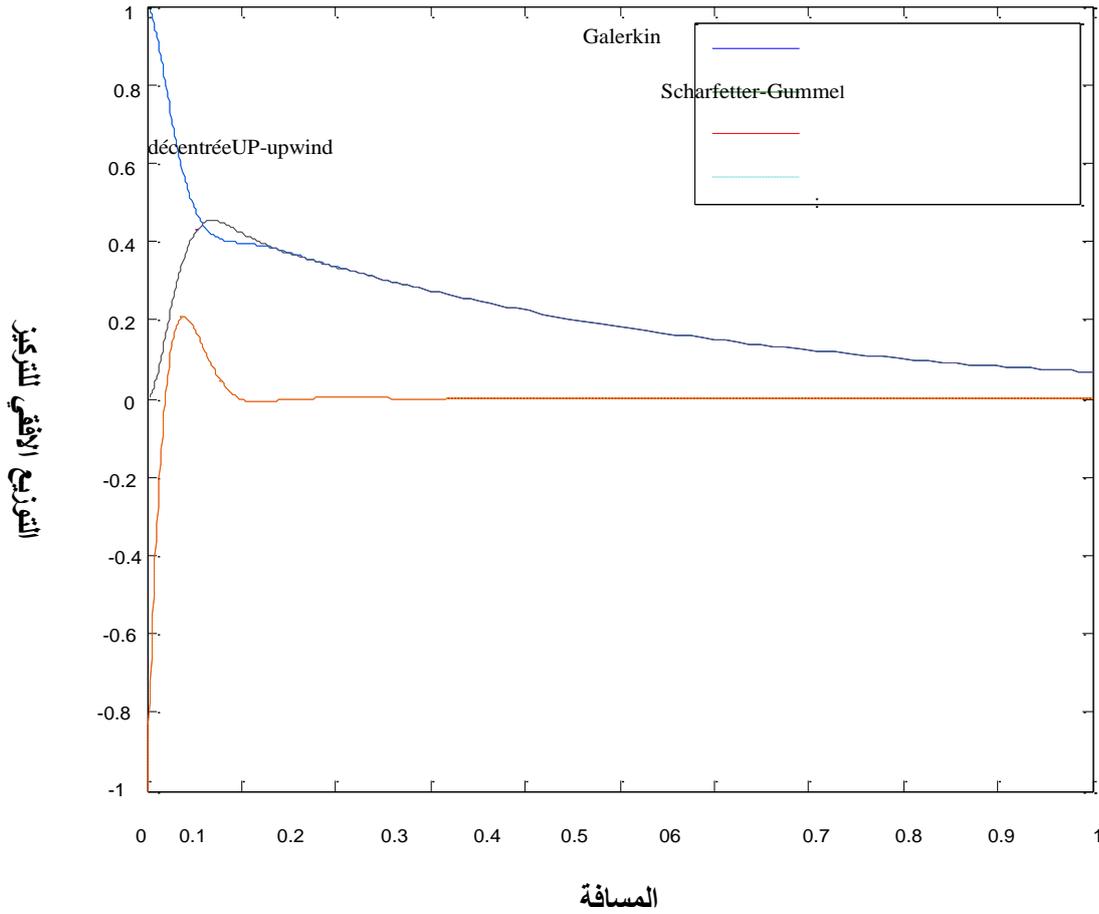
$$u(0)=u_0, -vu'(H) + \beta u(H)$$

حيث  $H$  هو ارتفاع ثابت نفترض فيه أن التدفق الكلي  $-vu' + \beta u = 0$  ، القيم الحقيقية للمعاملات هي

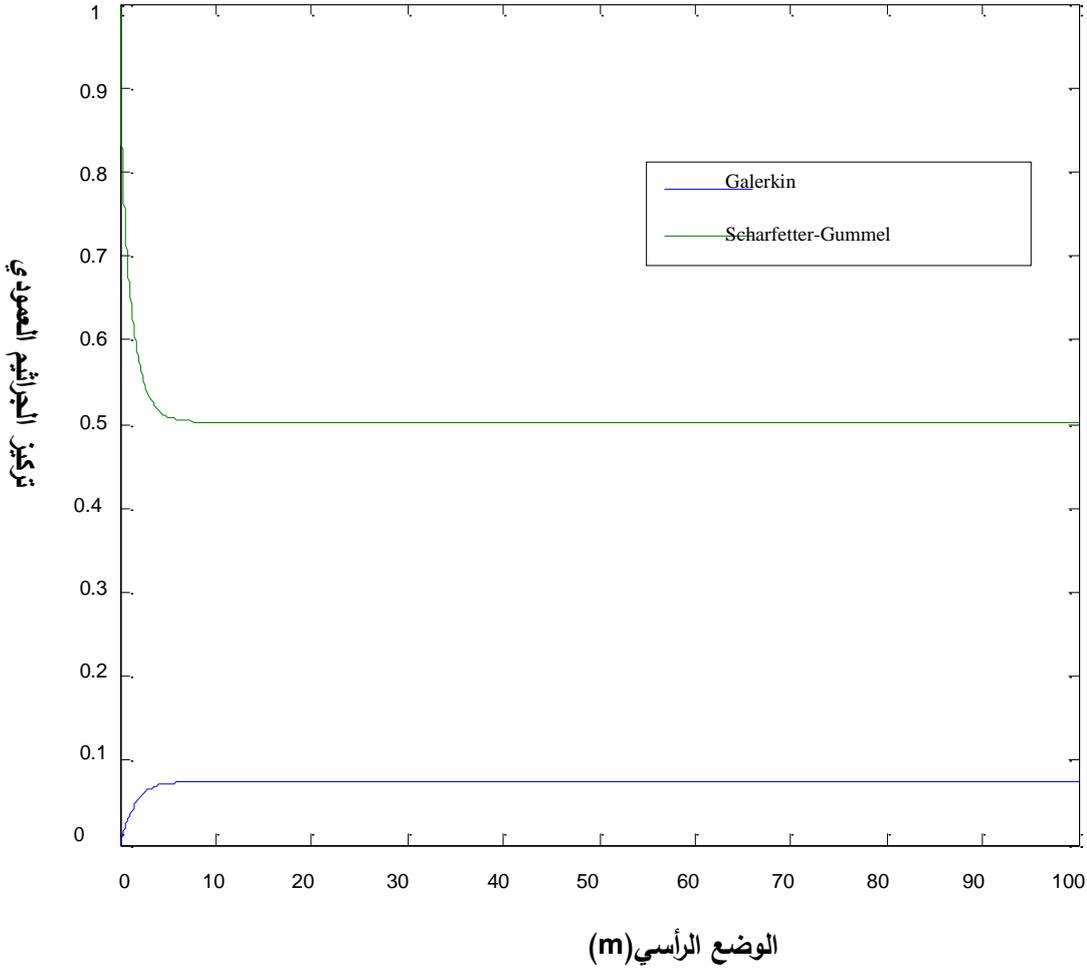
## الفصل الثالث: محاكاة ومناقشة النتائج

$v = 10 \text{ m}2\text{s}^{-1}$  و  $\beta = -0.03 \text{ ms}^{-1}$ ، في عمليات المحاكاة العددية ، أخذنا تركيزاً  $u_0$  لحبوب لقاح واحد لكل متر مكعب (أو غالباً تركيز الملوثات بالميكروجرام لكل متر مكعب) ، وارتفاع  $H$  يبلغ 10 كم. وبالتالي فإن رقم Péclet العالمي هو  $PegI = |\beta|H / (2v) = 15$  ، هنا رقم Péclet (PE) هو رقم بدون وحدة يستخدم في النقل الحراري ونقل الكتلة. وهي تمثل نسبة وقتين مميزين: زمن النقل بالحمل الحراري ووقت النقل بالتوصيل (أو بالانتشار لنقل الكتلة) ، وقد اقتربنا في الشكلين (1.III و 2.III) بطريقة العناصر المحدودة المنتهية.

يوضح الشكلين (1.III و 2.III) الحل المحسوب باستخدام البرنامج 82 على شبكة موحدة بخطوة فضاء  $h = \frac{H}{10}$  ، يظهر الحل الذي تم الحصول عليه باستخدام طريقة Galerkin غير المستقرة (G) في خطوط صلبة. يتم عرض الحلول التي تم الحصول عليها باستخدام طرق التثبيت (SG) Scharfetter-Gummel (SG) وخارج المركز décentréeUP-upwind (UP للرياح في اللغة الإنجليزية) على التوالي مع خطوط متقطعة وخطوط متقطعة. يلاحظ المرء التذبذبات الطفيلية في المحلول G. الحل UP منتشر للغاية بينما يكون محلول SG دقيقاً في العقد. رقم Péclet المحلي يساوي 1.5 في هذه الحالة. بأخذ  $h = \frac{H}{100}$  ، تكون طريقة Galerkin مستقرة ، كما هو موضح في الشكلين (1.III و 2.III) (يمين) حيث يتم تمثيل الحلول G (الخط الصلب) و UP (الخط المكسور).



الشكل 1.III : رسم تخطيطي يوضح التوزيع الافقي للتركيز بدلالة المسافة.



الشكل 2.III: رسم تخطيطي يوضح التركيز العمودي للجراتيم: المحاليل (SG ، G) مع  $h = H / 10$  ، بدلالة الوضع الرأسى..

### III-2-2- الرياح :

تعطى عبارة التركيز الطبيعي  $C_n$  كالتالي :

$$C_n = \frac{UC}{Q} = \frac{1}{\pi abx^2} \left(\frac{w_*}{U}\right)^{-2} \times \left[1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \left(\frac{az}{bx}\right)^2\right]^{-[(1/2a^2)(w_*/u)^{-2}+1]} \dots (2.III)$$

يعتمد التركيز الطبيعي ، بشكل أساسي ، على  $a$  و  $b$  و  $\frac{w_*}{U}$ . وتكون مساهمة  $\left(\frac{az}{bx}\right)^2$  صغير بالقرب من الأرض. الصيغة  $\left(\frac{y}{x}\right)^2$  تيمثل انحراف المستقبليات عن الخط المركزي للعمود. مساهمة في التركيز تساوي صفراً عند خط الوسط وتزداد بعيداً عن خط الوسط. هذا يتوافق مع حقيقة أن التركيز الأقصى لوحظ على طول الخط المركزي للعمود وينخفض في اتجاه الرياح المتقاطعة .

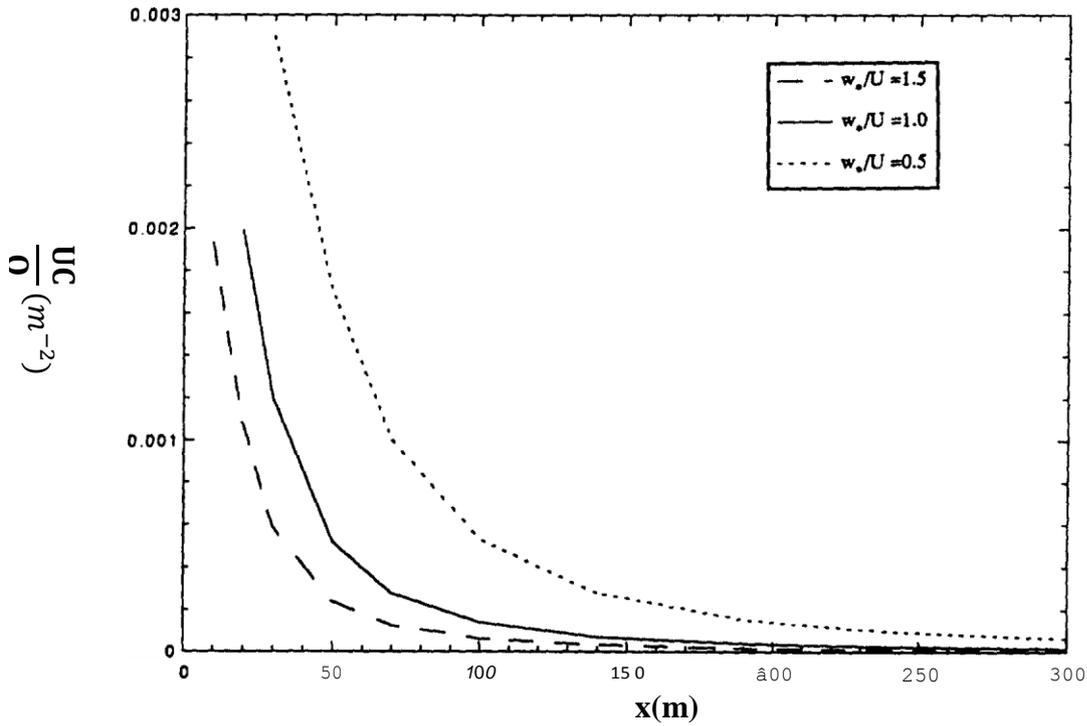
لتركيز الذروة (عند  $y = 0$  و  $z = 0$ ) ، تقلل الصيغة المعادلة (2.III) إلى

$$C_n = \frac{UC}{Q} = \frac{1}{\pi abx^2} \left(\frac{w^*}{U}\right)^{-2} \dots(3.III)$$

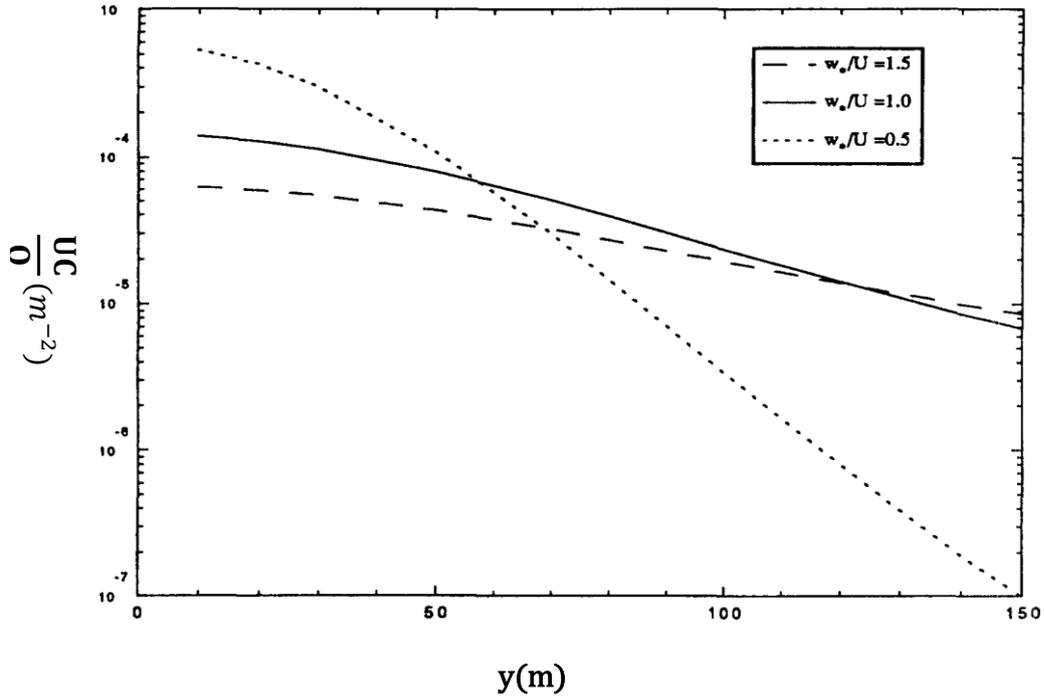
لذلك ستظهر حالات مالا نهاية في الثوابت  $a$  و  $b$  و  $\frac{w^*}{U}$  بشكل كبير في تراكيزات خط الوسط على مستوى الأرض ، على سبيل المثال ، يؤدي تقليل بنسبة 25% في  $\frac{w^*}{U}$  أو الثوابت  $a$  و  $b$  إلى إنتاج تقريباً زيادة ضعفين في التراكيزات.

بأخذ  $a = 0.56$  ،  $b = 0.4$  ،  $y = 10m$  و  $z = 0.5 m$  في المعادلة (2.III) ، يتم رسم  $C_n$  مقابل  $x$  لقيم مختلفة لـ  $\frac{w^*}{U}$  في الشكل (3.III). ينخفض التركيز الطبيعي مع مسافة الريح ، من أجل قيمة معينة لـ  $\frac{w^*}{U}$  ، بسرعة بالقرب من المصدر . لإشير إلى مدى عدم استقرار الغلاف الجوي ، تؤدي القيمة الأكبر لـ  $\frac{w^*}{U}$  ، (أي  $=1.5$ ) التي تتوافق مع حالة الحمل الحراري بقوة إلى تراكيزات أقل بالنسبة إلى  $\frac{w^*}{U} = 0.5$  ، والتي تشير إلى الحالة الضعيفة. إذا كانت تأثير الثابت  $a$  الى التركيز مشابه لتركيز  $\frac{w^*}{U}$  سيكون تأثير الثابت  $b$  على التركيز في أي نقطة من نفس الطبيعة كما هو الحال في ذروة التركيز كما نوقش أعلاه.

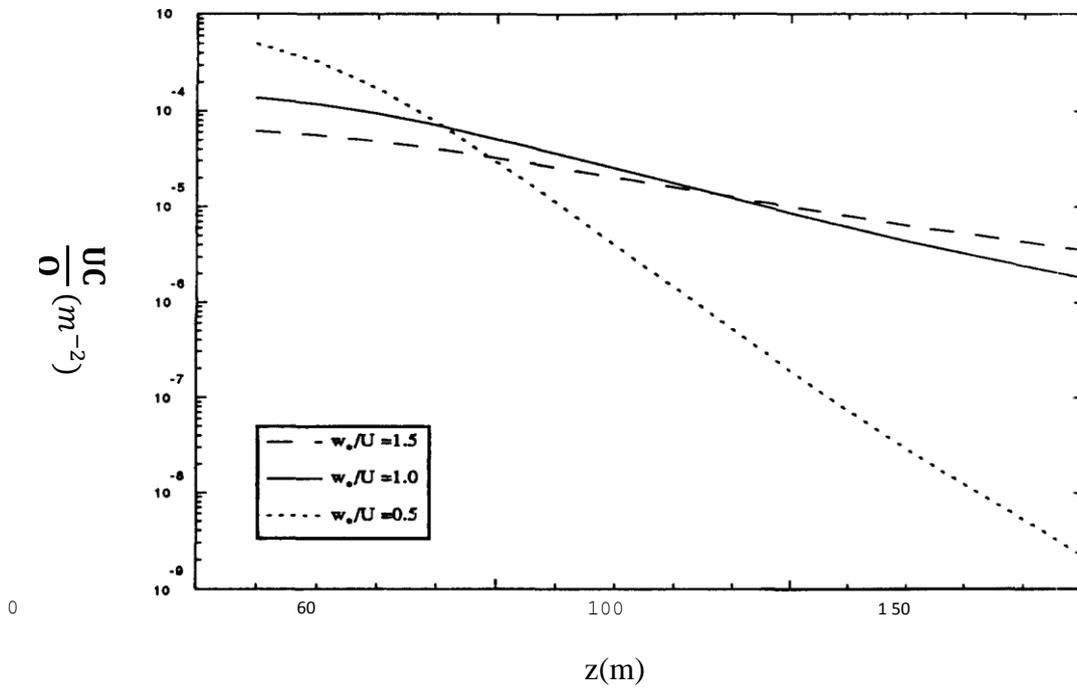
يوضح الشكلان (4.III) و (5.III) التوزيعات الأفقي للتركيز المقاس عند 100 متر في اتجاه الريح من المصدر ، في الشكلين (4.III) و (5.III) على التوالي . في (4.III) ،



الشكل 3.III: رسم بياني يمثل التركيز الطبيعي  $C_n$  بدلالة مسافة الريح لقيم مختلفة من  $\frac{w^*}{U}$ .



الشكل 4.III: رسم بيانيلتركيز يمثل مستوى الأرض الطبيعي عند  $x = 100 \text{ m}$  مع مسافة الرياح المتقاطعة لقيم مختلفة من  $\frac{w_*}{U}$ .



الشكل 5.III: رسم بياني يمثل تركيز الخط المركزي المقاس عند  $x = 100 \text{ m}$  مع المسافة العمودية لقيم مختلفة من  $\frac{w_*}{U}$ .

هذا العنصر بالغ الأهمية في تكوين المناخ الصحراوي ولذلك فسنبقوم بتفصيل فيه في فصلنا هذا .

يُعرف الغبار على أنه مسحوق جاف ناعم يتكون من مصادر عدة منها جزيئات الأتربة الصغيرة أو جزيئات النفايات الصغيرة المُلقاة على الأرض أو على الأسطح حيث تكون قد رفعت وتحركت بفعل الهواء وعوامل مساعدة أخرى مثل السيارات، وتتميز هذه الجزيئات الصغيرة بكونها صلبة وحجمها يتساوى مع حجم جزيئات الطين والطيني والتي يمكن أن يحركها الهواء وينقلها من مكان لآخر؛ الأمر الذي يؤدي إلى انتشارها.



الشكل III.6: تشكل سحب رملية (غبار كثيف) في منطقة صحراوية.

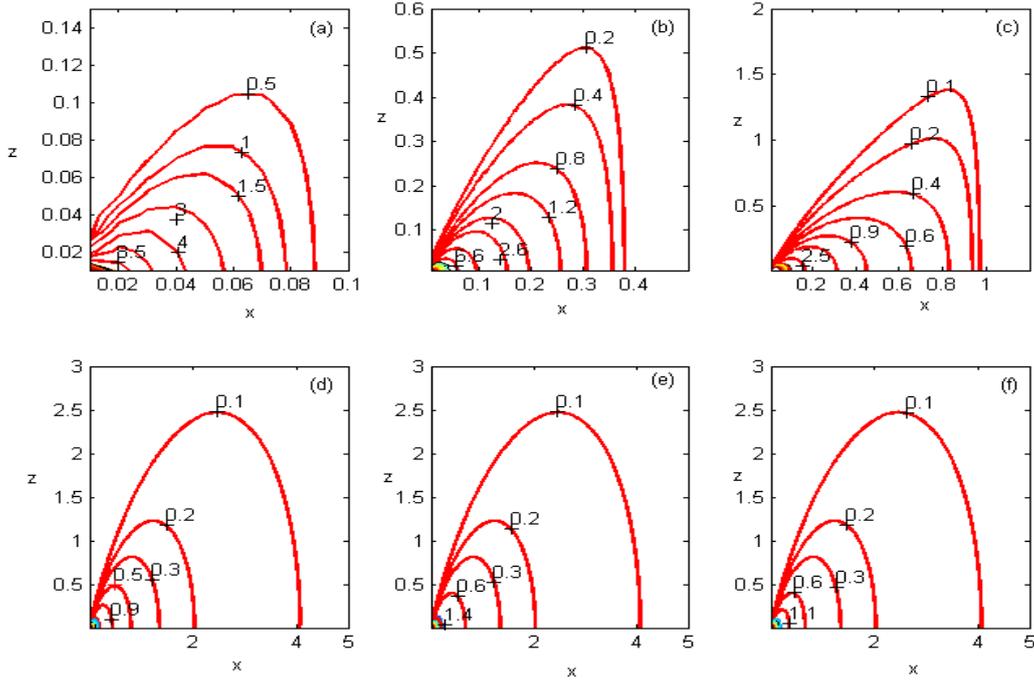
- قام الدكتور خالد سليمان المشرفي بالدراسة انتشار جزيئات الغبار المنبعثة من مصدر ثابت في الغلاف الجوي في الحالة عدم استقرار النظام. وجدت الدراسة حل لمعادلة الانتشار بدلالة الزمن في وجود مصدر نقطي تعتمد قوته على الزمن المستغرق . يقلل الحل إلى أشكال أبسط في حالات خاصة حيث يمكن الحصول على الحل في التعبير الصريح. في الحالة (1) تم إهمال الانتشار في كلا الاتجاهين الطولي والخطي. تم التحقق من اعتماد توزيع الغبار على التغير الزمني للمصدر في في طريقتين مختلفتين. عندما يكون المصدر قوياً للأوقات الصغيرة ، يظهر الحل على شكل انقطاعات. في الحالة (2) تم تجاهل الانتشار في الاتجاهين  $y$  و  $z$ . أظهرت الحلول أن تركيز جزيئات الغبار في المستوى  $(x,t)$  يعتمد على معامل الانتشار في اتجاه الرياح. أدى الوجود القوي لهذا المعامل إلى انتشار الغبار في مساحة أكبر. يقترب الحل من حل الحالة المستقرة للنظام.[30]

اعتمدة في دراسته استعمال المصدر بحالتين هما : دالة Heaviside و دالة الاسية  $(1-e^{-\lambda t})$  , نحن سنتطرق للحالة الثانية فقط , حيث كانت اطلاقاً دراسته من المعادلة (III.1) التي ذكرناها في جزء التلوث الجوي.

- الحالة (1): الحل في حالة الانتشار العمودي ، في هذه الحالة يوجد انتشار عمودي وغياب كل من الانتشار الطولي والخطي .الحل هنا معطى بواسطة

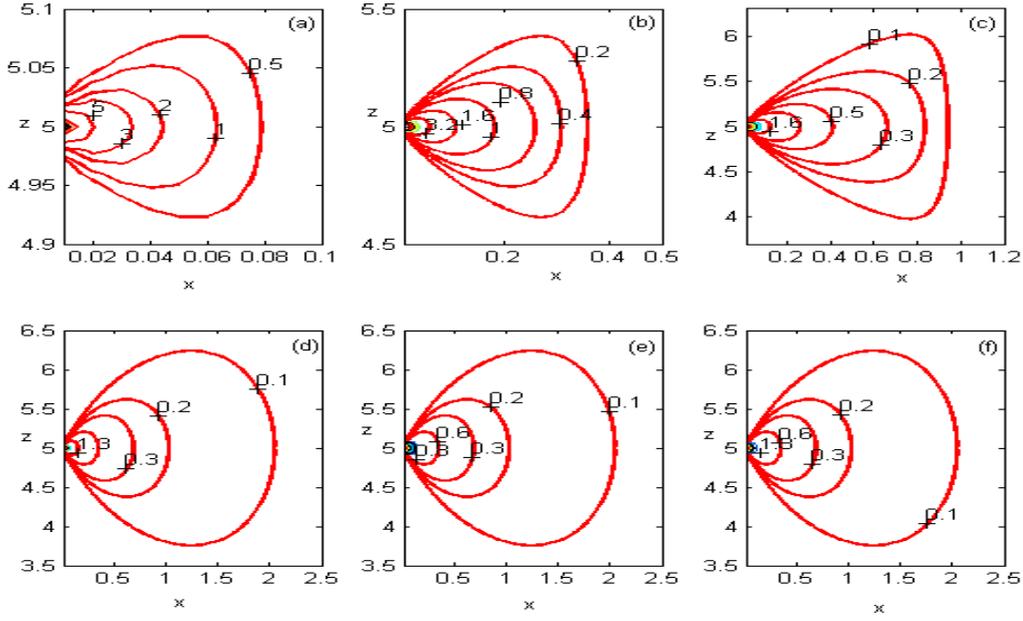
$$C(x,z,t) = \begin{cases} \frac{Q}{2\sqrt{2\pi}x} (1 - e^{-\lambda(t-x)}) \left[ \exp\left\{-\frac{(h+z)^2}{2x^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(h-z)^2}{2x^2}\right\} \right], & x < t \\ 0, & x > t \end{cases} \quad (4.III)$$

تم توضيح حل معادلة (4.III) في المستوي (x,z) لقيم مختلفة للوقت t ومعامل الانحلال  $\lambda$  في الشكلان 7 و 8 ، حيث  $\bar{C}(x,z,t) = C(x,z,t)/Q$ . نلاحظ أن قوة المصدر في هذه الحالة تعتمد على معامل الانحلال  $\lambda$  وكذلك على الزمن. يوضح الشكلان 7 و 8 ملامح الحل لقيمة ثابتة ( $\lambda = 10$ ) وقيم مختلفة للزمن t بارتفاعين مختلفين للمصدر. الواضح أنه لا يوجد انقطاع في توزيع الجسيمات في المستوى (x, z) مهما كانت قيم الزمن والارتفاع.



الشكل 7.III: يبين حدود التركيز  $\bar{C}(x,z,t)$  في المستوي (x,z) عند  $h=0$ . [30]

بالنسبة للشكل (7.III) عندما الدالة  $f(t)=1-e^{-\lambda t}$  مع  $h=0$  و  $\lambda=10$  والوقت t يأخذ القيم 0.1, 0.4, 1, 5, 7.5، و 10 في (a) , (b) , (c) , (d) , (e) , و (f) على التوالي.



الشكل 8.III: يبين حدود التركيز  $\bar{C}(x, z, t)$  في المستوى  $(x, z)$  عند  $h=5$ . [30]

بالنسبة للشكل (8.III) عندما الدالة  $f(t)=1-e^{-\lambda t}$  مع  $h=5$  و  $\lambda=10$  والوقت  $t$  يأخذ القيم 0.1، 0.4، 1، 5، 7.5، و 10 في (a)، (b)، (c)، (d)، (e) و (f) على التوالي.

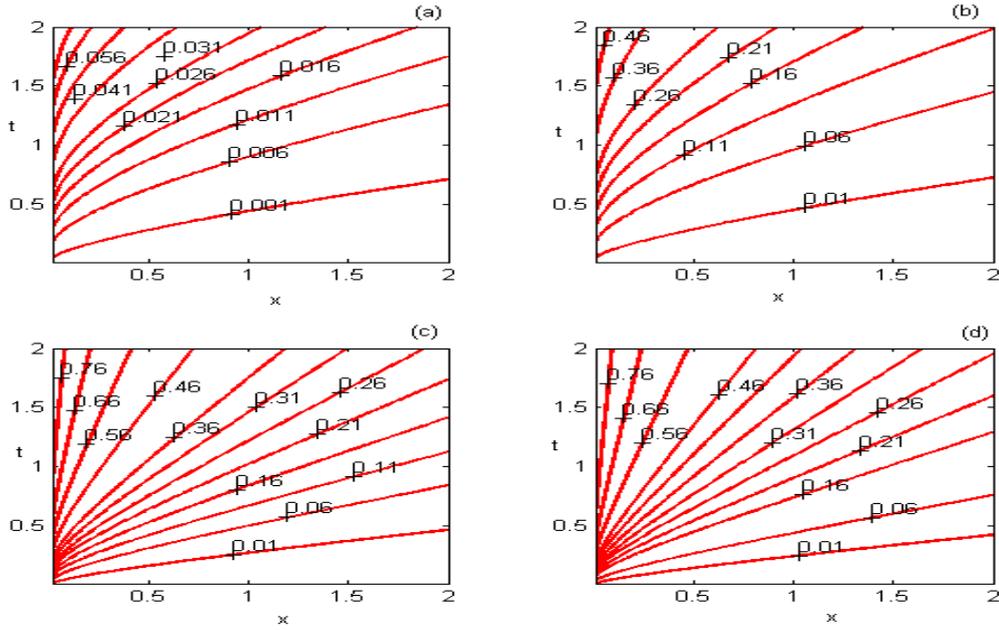
بالنسبة للقيم الكبيرة للوقت  $t$ ، يتقارب توزيع الجسيمات مع حل الحالة المستقرة (الشكلان 7 و 8 الدالة (f)).

▪ الحالة (2): الحل في حالة الانتشار الطولي

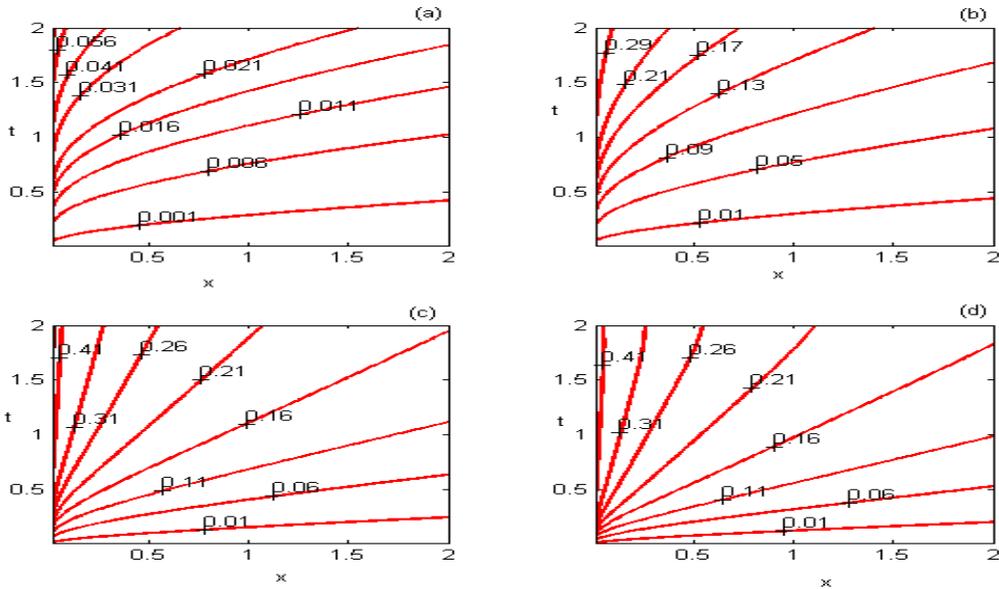
$$C(x,t) = \frac{Q\lambda}{\Gamma(2\mu)\Gamma(2-2\mu)} \int_0^t \left(\frac{t}{s} - 1\right)^{1-2\mu} e^{-\frac{2\mu x}{s}} M(1, 2 - 2\mu, \lambda(s, t)) ds, \quad (5.III)$$

حيث  $M(a, b, x)$  هي دالة متموجة الهندسة.

يتم عرض نتائج البيانية للمعادلة (5.III) في المستوى  $(x, t)$  في الشكلين 9 و 10 لقيم مختلفة لمعلمة الانحلال  $\lambda$  والقيمتين المحددتين لمعاملات الانتشار الطولي؛  $\alpha = 2$  و  $\alpha = 10$  على التوالي. تزداد كمية الجسيمات في كل نقطة من المستوى  $(x, t)$  كلما زاد عامل الانحلال  $\lambda$  لقيمة ثابتة للانتشار الطولي  $\alpha$ . يجب أن يحدث هذا الموقف في الحياة الواقعية لأنه عندما يزداد معامل الانحلال، تزداد قوة المصدر. عندما تكون قيم  $\lambda$  و  $\alpha$  ثابتة، يزداد التركيز مع زيادة الزمن ومع مسافة ثابتة  $x$ . علاوة على ذلك، في وقت محدد  $t$ ، من أجل القوة الثابتة للمصدر والانتشار الطولي، ينخفض التركيز كلما ابتعدنا عن المصدر.



الشكل 9.III : ملف تعريف التركيز  $\bar{C}(x, t)$  لقيمة ثابتة  $\mu = 0.25$  ( $\alpha = 2$ ) = قيم مختلفة لعامل الانحلال:  $\lambda = 10$  (d),  $\lambda = 6$  (c),  $\lambda = 1$  (b),  $\lambda = 0.1$  (a). [30].



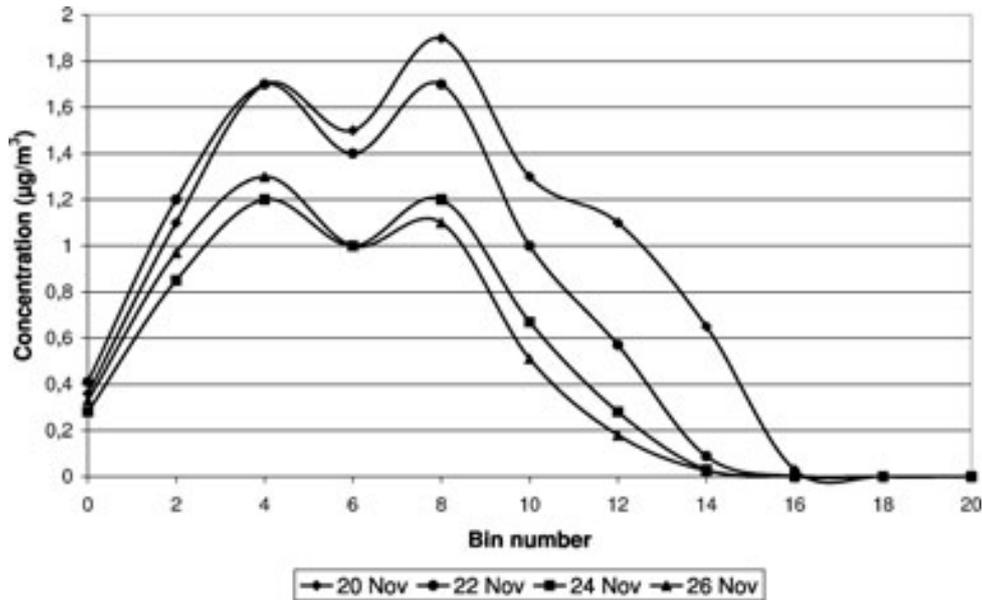
الشكل 10.III : ملف تعريف التركيز  $\bar{C}(x, t)$  لقيمة ثابتة  $\mu = 0.05$  ( $\alpha = 10$ ) = قيم مختلفة لعامل الانحلال:  $\lambda = 10$  (d),  $\lambda = 5$  (c),  $\lambda = 1$  (b),  $\lambda = 0.1$  (a). [30].

كما هو مبين في الشكلين 9.III و 10.III ، بالنسبة للقيم الصغيرة لـ  $\lambda$  والثابت  $\alpha$  ، يكون انتشار الجسيمات في الاتجاه الأفقي ضعيفاً للغاية وتحتاج الجسيمات إلى مزيد من الوقت لتنتشر في اتجاه  $x$  ، (الشكلان 9.III (a, b) و 10.III (a, b)). كلما زاد  $\lambda$  ، يزداد الانتشار بشكل ثابتة. للحصول على قيمة ثابتة لعامل الانحلال  $\lambda$  ، في كل نقطة في

## الفصل الثالث: محاكاة ومناقشة النتائج

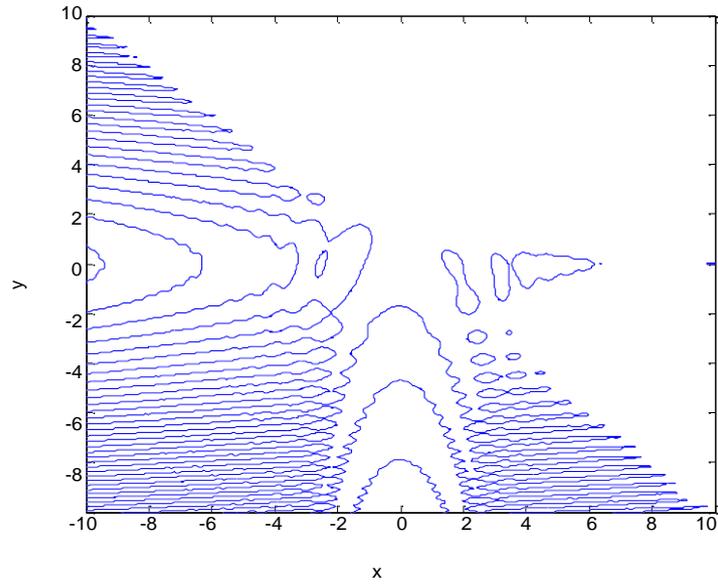
المستوى يكون التركيز عندما يكون  $\alpha = 2$  أكثر من ذلك عند  $\alpha = 10$ . توضح المقارنة بين حالتي  $f(t)$  في وجود انتشار طولي أن قوة المصدر في الحالة (1) أقوى من تلك الخاصة بالمصدر في الحالة (2). لكن الاثنان سيكونان متطابقين للقيم الكبيرة لعامل الانتحلال  $\lambda$ .

- أما عن الدراسة انتقال الغبار على المستويات البعيدة فقد تمت دراسة حالة انتقال بعيد المدى في تشرين الثاني / نوفمبر 2004 مارتري وأخرون في بحثه حول إنتقال وتموضع غبار الصحراء بل CTM MOCAGE حيث ظهرت بعض الأفكار حول تطور قياس حبيبات جزيئات الغبار خلال هذا النقل بعيد المدى للغاية. أثناء النقل ، يكون للترسبات (الرطوبة والجافة) تأثيرات مختلفة على تركيزات الغبار التي تتبع أقطارها. تمت دراسة تطور تركيز كل حاوية أثناء نقل الغبار من إفريقيا إلى أمريكا. يمثل الشكل 11.111) تطور هذه التركيزات خلال شهر نوفمبر. تظهر الأنماط الثلاثة اللوغارتمية العادية للتوزيع الأولي في التاريخ الأول (20 نوفمبر 2004). أثناء النقل يكون الترسب للجسيمات الكبيرة. بالنظر إلى ترا التاريخ الأخير (26 نوفمبر 2004) ، فإن التوزيع له وضعان فقط ، حيث التخلص على أكبر الجسيمات تدريجياً بواسطة الأحواض المختلفة. يشير هذا إلى فترات عمر مختلفة جداً عبر طيف توزيعات حجم الغبار ، كما هو محدد على سبيل المثال في (تبقين وفوقن ، 1994) .

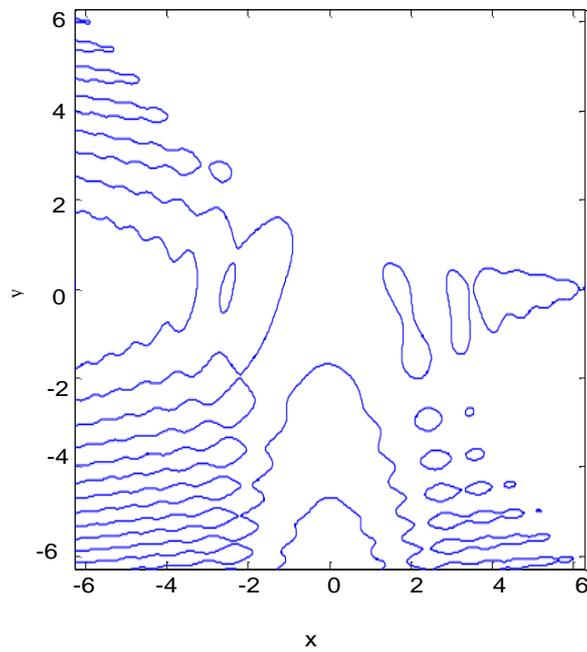


الشكل 11.111: تطور توزيع حجم الغبار أثناء النقل بين إفريقيا وأمريكا في حالة نوفمبر 2004 لأربعة تواريخ مختلفة.

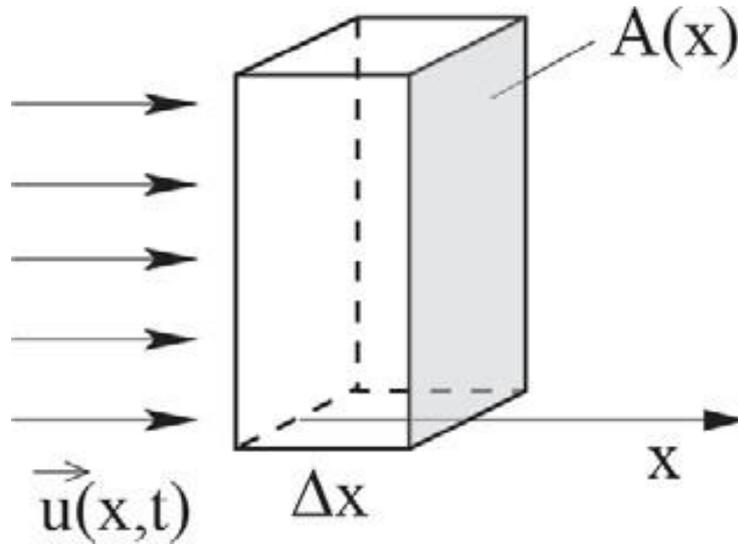
III-3- بعض نتائج المحاكاة :



الشكل 12.III: تشتت الملوثات بتركيز عالٍ عند الرياح المنخفض

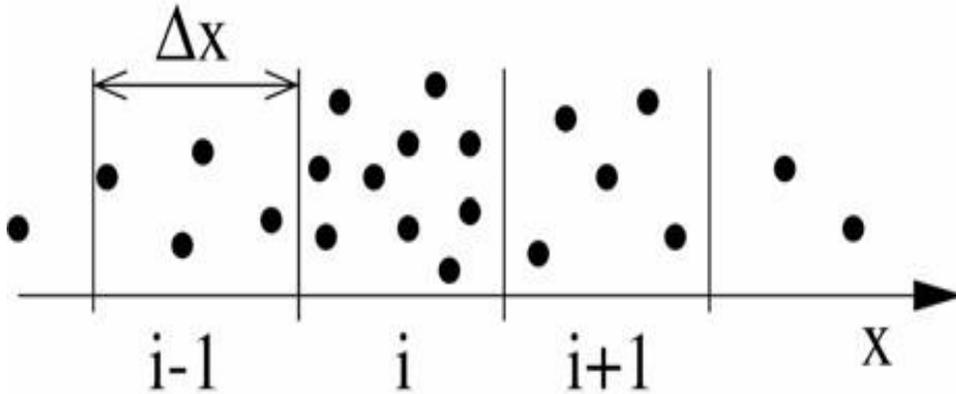


الشكل 13.III: تشتت الملوثات عند الرياح المتوسطة.



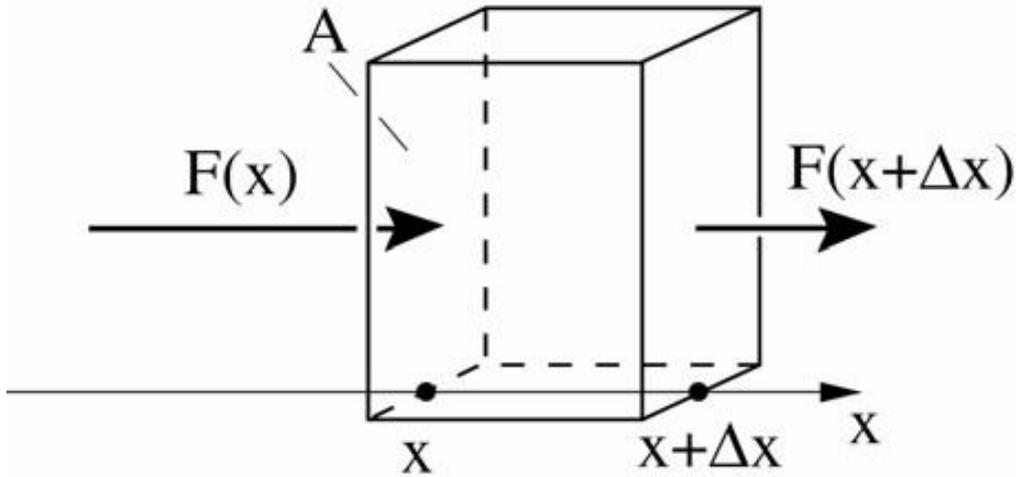
الشكل 14.III: التآفق (أو التدفق).

يمثل الشكل لاشتقاق صيغة التدفقات العرضية للكميات في النظام المناخي ، فإننا ننظر أولاً في الحالة أحادية البعد الموضحة في الشكل (14.III) نفترض التدفق  $u(x,t)$  ، الذي ينقل الكمية المراد أخذها في الاعتبار .يتحرك السائل (الغاز والهواء والماء) عبر منطقة تحكم ثابتة  $A(x)$  تُعطي الكمية المنقولة (الكتلة ، الطاقة ، الزخم ، التتبع) كتركيز  $C(x,t)$  ، وبالتالي يُشار إلى الكمية بالحجم .في فترة زمنية قصيرة ، يمر التدفق بحجم  $A \cdot \Delta x$  ، فإن الكمية الإجمالية المنقولة هي  $A \cdot \Delta x \cdot C$  .



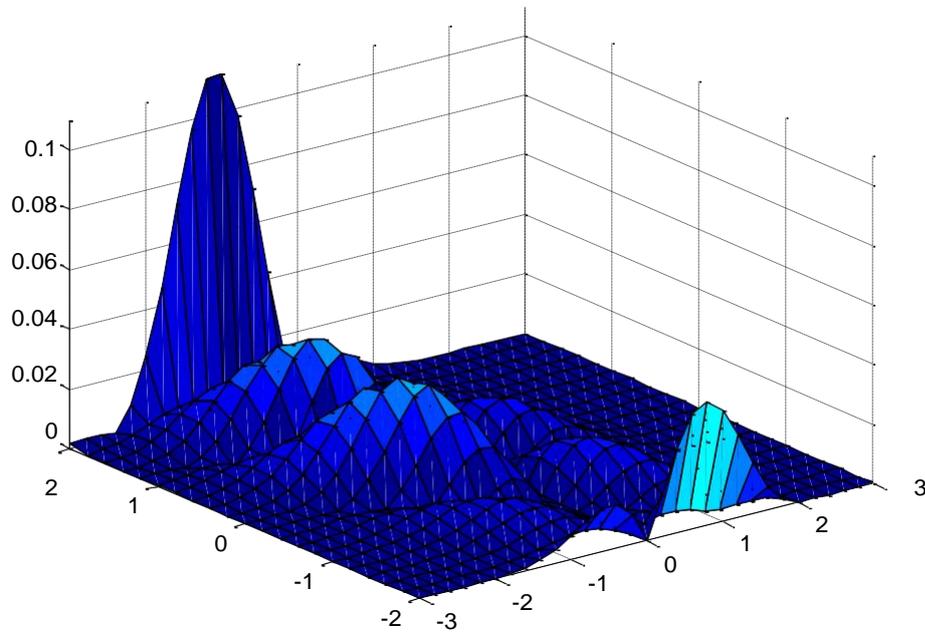
الشكل 15.III: نموذج انتشار البعد 1.

تحدث عمليات الانتشار بسبب الحركة الحرارية للجزيئات (الحركة البراونية Brownian motion) ولا يمكن وصفها إلا بطريقة إحصائية. على المستوى العياني ، يتم التقاط هذا من خلال تحديد معالم ، كما سنرى أدناه. ضع في اعتبارك الحالة ذات البعد الواحد مرة أخرى وقم بتقسيم المحور  $x$  إلى خلايا بعرض  $\Delta x$  حيث توجد الجزيئات (الشكل 15.III)



الشكل 16.III: تدفق التبعية المكانية في البعد.

نظرًا لأن التدفقات يتم تحديدها ، فيمكننا صياغة موازين المادة والطاقة في ما يلي .الأرصدة هي مبادئ حفظ الكميات ذات الأهمية .كان المثال الأول هو EBM ، والذي تم تقديمه في المعادلة (2.1) هنا سنضع معادلة حفظ للكمية C (يشار إليها مرة أخرى بحجم وحدة) ونبدأ ببعد واحد x الشكل (16.III) .



الشكل 17.III: محاكاة انتشار الملوثات حسب سرعة الرياح.

### III-4- فوائد الغبار :

للفوائد ايجابية كثيرة لا يمكن تخيلها ونحن في هذا الصدد نذكر بعض منها :

- ✓ التقليل من الغازات السامة: انتشار الغبار في الجو يؤثر بالإيجاب في المدن الصناعية حيث يعمل الغبار على إزالة أطنان من الغازات السامة ، مما يعمل على تجدد الهواء.
- ✓ المساعدة على هطول الأمطار: نشاط الغبار والأترية تساعد على هطول الأمطار مما يؤدي إلى تكوين حفرة تتكون فيها الأمطار بسبب تجمع حبيبات الأترية الطينية الدقيقة من المناطق المرتفعة وتكوينها في المناطق المنخفضة، وعندما تتبخر وتجف تكون التربة خصبة غنية بكل ما يحتاجه النبات للتكوين.
- ✓ تقوية مناعة الاطفال : المدهش أنه يساعد على تحسين مناعة الأطفال، حيث يوصي الأطفال بتعرضهم للغبار حتى يعزز لديهم المناعة ضد أمراض الحساسية والربو.
- فالغبار يساهم في زيادة قدرة الأطفال على مقاومة البكتريا الضارة وهو ما أوضحتها الدراسات العلمية الحديثة.
- ✓ إمداد البحار بالعناصر المهمة : للغبار أهمية كبيرة في إمداد أسطح البحار والمحيطات بالعناصر المهمة كالسيلكون والنحاس والزنك والفسفور والحديد، وهي عناصر مهمة لتكاثر وتغذية الكائنات الدقيقة النباتية البحرية مما يؤدي إلى التقليل من نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو.

### III-5- اضرار الناجمة عن الغبار :

- ✓ يعد غبار الفحم أحد مسببات مرض الالتهاب الرئوي ويسبب غبار الفحم مشاكل صحية خطيرة للعاملين في مناجم الفحم مثل مرض الرئة الأسود، ويمكن أن يتسبب غبار الفحم إذا تواجد بتركيز عالٍ بحدوث خطر الانفجار في الأماكن المغلقة بظروف معينة وهي نادرة الحدوث.
- ✓ يشكل الدخان القادم من عوادم السيارات نسبة 33% من الهواء الملوث ويتكون غبار الطريق من رواسب عوادم السيارات وعوادم المصانع، والجزيئات الصغيرة التي تأتي من تآكل الإطارات والفرامل، ويعد غبار الطريق مصدرًا هامًا يساهم في تغذية الغلاف الجوي بالغبار وإطلاق الجسيمات الدقيقة فيه، وتعد عملية التحكم بهذا الغبار وتنقية الهواء في الأماكن الحضرية تحديًا صعبًا.
- ✓ يأتي الغبار المحمول بواسطة الرياح والموجود في الغلاف الجوي من المناطق الجافة والقاحلة حيث تكون الرياح عالية السرعة وقادرة على إزالة معظم الجزيئات التي تكون بحجم جزيئات الطمي، ويغطي ثلث مساحة سطح الأرض بطبقة منتجة للغبار، وينتقل الغبار الصحراوي في طبقة التروبوسفير الى منطقة البحر الكاريبي وحوض الأمازون ويستقر في تلك المنطقة، ويمكن أن ينتج هذا الغبار تأثيرًا إشعاعيًا بمجرد وجوده في الجو وقد يؤثر ذلك على درجات حرارة الهواء ويتسبب في تبريد المحطات ويغير من كميات الأمطار.

### III-6- تأثير الرياح والغبار على الزراعة الصحراوية :

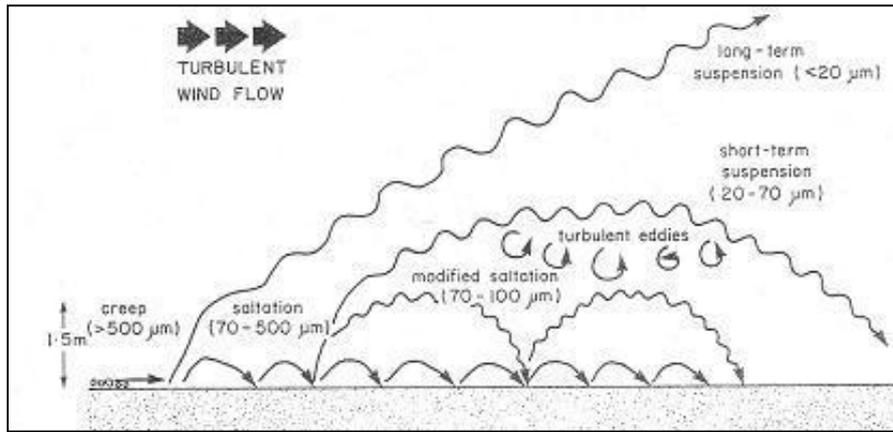
ينتج على ظاهرة الغبار وكذلك الرياح اثار في الزراعة سواء سلبية كانت او ايجابية بحيث :

- ❖ يعتبر الغبار خطراً مدمراً للمحاصيل الزراعية والنباتات، إذ يعمل على سد المسامات الموجودة في أوراق النباتات وبالتالي منع الأوراق من إتمام عملية البناء الضوئي، ما يُضعف قوتها وإنتاجيتها [31].
- ❖ ويعد تأثير الغبار على النباتات خطراً لكونه مصدراً جذباً لأنواع الحشرات المختلفة، كالعناكب التي تبني بيوتها على أوراق النباتات، حيث تُرى العناكب في النبتة المغطاة بالغبار مكاناً مميزاً يُساعد على التموه والإختباء من المفترسات التي تفوقها حجماً ووزناً. وتتغذى هذه العناكب على عصارة النباتات، ما يعني ضعف النباتات المُصابة بهذه الآفة الزراعية وتحولها إلى اللون الأصفر. وقد تؤدي إلى موت المحصول بشكلٍ كامل في نهاية المطاف، وإلحاق خسائر مادية فادحة في القطاع الزراعي. [31]
- ❖ تعد الرياح من العناصر المهمة للحياة النباتية بوصفها أحد العوامل المتحكمة في نجاح أو فشل إنتاجية المحاصيل الزراعية، إذ تساعد الرياح الخفيفة السرعة في تنشيط فعاليات النبات الحيوية وعملية صنع الغذاء، وتمد النبات بغاز ثاني اوكسيد الكربون اللازم لعملية التمثيل الضوئي وكذلك بغاز الأوكسجين اللازم لعملية التنفس، وتقلل الرياح حبوب اللقاح بين الأزهار المختلفة لإتمام عملية التلقيح الطبيعي، وتساعد على تجديد الهواء المحيط بالنبات مما يقلل من نشاط الفطريات بسبب قلة الرطوبة في الهواء المحيط بالنبات والأوراق، بينما تزيد الرياح الشديدة السرعة نسبة التبخر-النتح، وبهذا تتخفض الرطوبة النسبية للهواء المحيط بالنبات والرطوبة الأرضية.
- ❖ وتؤثر الرياح السريعة أيضاً في التزهير، إذ تؤدي إلى جفاف الأزهار وموتها وسقوط الثمار الحديثة العقد، وتعمل على تجفيف إفرازات المياسم وخفض قابليتها على استقبال حبوب اللقاح، فقد تتأثر محاصيل الخضر الصيفية ولاسيما القرع والطماطم بالرياح الشديدة السرعة إذ تؤدي تلك الرياح إلى استئصال قلم الزهرة قبل نفتحها وفشل عملية التلقيح وسقوط الأزهار بدون عقد، وتزداد حدوث الأضرار على المحصول خلال العشرين يوماً التي تسبق الحصاد. أما تأثير الرياح الشديدة السرعة في محاصيل الخضرة الصغيرة فقد تتمكن من تجاوز تلك الأضرار بتكوينها لأوراق جديدة نتيجة ما فقد منها.
- ❖ ولا يقتصر عمل الرياح على النبات بل تؤثر في الخدمة الزراعية إذ تجعل عملية الرش واستخدام الأسمدة الكيماوية غير متجانسة مما يؤثر تأثيراً سيئاً في المحاصيل الزراعية. وتتأثر المحاصيل الصيفية بالرياح القوية مسببة لها أضراراً ميكانيكية، فضلاً عن الأضرار الفسيولوجية التي سبق الكلام عنها إذ يتسبب إلى ميلان سيقان النبات واضطجاعه وانحنائه نحو سطح التربة فقد يكون غير قادر على الاعتدال عند اشتداد الرياح، وتعمل أيضاً على تشابك الأغصان الحاملة للثمار ونكسرها وتساقط الأوراق وتمزقها.
- ❖ ويظهر تأثيرها في علاقتها مع النباتات بالآفات الزراعية، إذ تقوم بنقل الأمراض النباتية، كما في الفطريات والبكتريا ولاسيما عند اشتداد الرياح الرطبة والحارة، وتعمل على احتكاك النباتات السليمة بالمريضة عن طريق سرعتها وحركتها، مما يؤدي إلى انتقال المرض من النباتات المريضة إلى السليمة. أما الرياح المحملة بالغبار والأترية فيظهر تأثيرها في عملية البناء الضوئي والتنفس للنبات نتيجة لغلغ المسامات بجزيئات الغبار وتسبب تلف وتمزق الأوراق والثمار، إذ يتوقف الضرر على حجم الغبار وذراته فقد يزداد تأثيرها تأثيراً سيئاً كلما كانت

جزيئات الرمال ودقائقه صغيرة الحجم، إذ تعمل على جرح الثمار والتقليل من قيمتها الاقتصادية مسببة الكثير من الخسائر ومن ثم قلة في الحاصل مما يتسبب خسارة فادحة لمنتجي المحاصيل الصيفية. [32]

### III-7- آثار الرمل والغبار على مناطق العمرانية :

الرمل والغبار لها تأثيرات بيئية سلبية كبيرة على العمارة والبيئة الحضرية. يمكن دراسة هذه التأثيرات من خلال ثلاثة مبادئ أساسية لحركة الرمل والغبار ، هي الانكماش والنقل والرسو. حيث تتحرك جزيئات الرمل والغبار عبر الهواء وهذا وقف على كتلتها وقوة القوى الديناميكية الهوائية التي تعمل عليهما ، كما هو موضح في الشكل (12.III). فنادرا ما ترتفع دقائق (جزيئات) فوق سطح الأرض من خلال تأثير الحبيبات الأصغر الموصوفة بحركتها بانها حركة (زحف سطحي) . حبيبات الرمل الناعم بعمق 125-250 مايكرومتر تتحرك بحركة الوثب (القفز) من خلال الارتطام المتكرر مع سطح الأرض ونادرا ما تصل ارتفاع (1 م). قد تكون الدقائق ذات الاقطار الأقل من 100 ميكرو متر موجودة في الهواء بشكل معلق و لفترات مختلف مع الوقت بالاعتماد على كتلتها وخواص الهواء مثل الاضطرابات والاستقرار في الغلاف الجوي . بينما تتحرك الدقائق التي تقل عن 23 مايكرومترًا إلى مسافة آلاف الكيلومترات وقد تعبر المحيطات . توزيع حجم الحبيبات لدقائق الغبار في الهواء هي دالة فوق للارتفاع سطح الأرض بينما دقائق الكبيرة الأكبر من 20 مايكرو متر قطرا قريبة من سطح الأرض وتركيزها ينخفض أسيا مع الارتفاع . أما تركيز الدقائق الناعمة الأقل من 10 مايكرو متر هي تقريبا مستقلة عن الارتفاع. [33]



الشكل 12.III : طرق حركة ذرات الرمال. [33]

### III-8- مراقبة الغبار في كاوست :

أجرى البروفيسور ستنتشيكوف بحثاً شاملاً لرصد الهباء الجوي في حرم كاوست، حيث تم لعقد من الزمان تشغيل موقع KAUST AERONET الذي يوفر عمليات رصد متعددة الأطوال الموجية للعمق البصري للهباء المتكامل للعمود، وتوزيع حجم الهباء الجوي، وأس أنغستروم، ومؤشر الانكسار. يوجد جهاز ' ليدار النبضات الدقيقة ' MPL لقياس التوزيع الرأسي لمعامل التشتت الخلفي للهباء الجوي. طور خوارزمية استرجاع جديدة سمحت لنا بالحصول على توزيع رأسي

لانقراض الهباء الجوي، وبياض التثنت المفرد، ونسبة خلط الهباء الجوي. كان أول من أجرى قياسات منهجية للعمق البصري للهباء الجوي فوق البحر الحقيقي باستخدام مقياس ضوئي للشمس محمول باليد (MICROTOPS). [34]

### III-9- بعض الحلول للقليل من اضرار الغبار :

- أهمية زراعة الأشجار كمصدات للرياح والغبار على أطراف المزارع للتقليل من آثار الغبار، لما تلعبه من دور فعال في تنقيح الهواء، حيث تحجب 40-80 % من كمية الغبار العالقة بالهواء وتقلل سرعة الرياح، ورش النباتات بمبيدات العناكب عند الحاجة.

- كما ينصح مربي الثروة الحيوانية، بعدم الرعي في المناطق المغيرة، لتلافي الأخطار التي يمكن أن تلحق بالقطعان خصوصا على المواليد الصغيرة، كما يجب توفير المياه بكميات كبيرة للقطعان ورش رذاذ الماء على وجه المواليد الجديده حفاظا على سلامتها.

- وعلى المدى البعيد، يجب أن ينصب الاهتمام على الاستراتيجيات التي تعزز الإدارة المستدامة للأراضي والمياه في سائر البيئات الطبيعية، بما فيها الأراضي الزراعية والمراعي والصحارى والمناطق الحضرية. وتبقى هذه الاستراتيجيات قاصرة ما لم تتكامل مع تدابير التكيف مع التغير المناخي وتلطيف آثاره، إلى جانب الحفاظ على التنوع الحيوي والموائل الطبيعية.

- هناك مجموعة من المعالجات المعمارية التي يمكن اتخاذها من قبل المصممين المعماريين على الواقع الحال لتفادي او مقاومة الآثار السلبية للغبار والرمال على العمارة من خلال اجراء بعض التعديلات المناسبة على واقع الحال.

خاتمة

ماهي نماذج المناخية ؟ وكيف يمكن وصفها رياضيا ؟ وكيف يمكننا محاكاة وصفها الرياضي باستعمال برنامج الماتلاب ؟ وكيف يمكننا استعمالها في دراسة مناخ والبيئة الصحراوية ؟

بعدما عرفنا ماهو النموذج المناخ ومكوناته وفيما يستخدم و كذلك كيفية التحقق من صلاحياته , وبعدما قمنا في الفصل الثاني بدراسةالنمذجة الرياضية للتلوث المناخ و البيئة الصحراوية بالنسبة للثلاث طبقات وهي تلوث الغلاف الجوي ( والغلاف المائي وكذلك اليابسة وكذلك نمذجة اهم ظاهرتين حادتين فيه ( الرياح و الغبار ) حيث قمنا بتفصيل هاتين الظاهرتين لاهميتهما في تشكيل المناخ الصحراوي.

لهذه المنهجية ثلاثة أهداف رئيسية اولا تقديم الأساس المادي والوصف الرياضي لمختلف مكونات النظام المناخي واشتقاق المعادلات التفاضلية التي تصف أهم العمليات المناخية ؛ وثانيا إدخال الحلول العددية للمعادلات التفاضلية الجزئية العادية باستخدام أمثلة من النمذجة المناخية ؛ وفي الاخير استخدام وتطبيق Matlab كأداة رياضية رقمية .

تم ملاحظت ان الغبار ينتشر ببطئ في اتجاه الريح في حالتين افقية وعمودية لتعطي معادلة رياضية خاصة بها وكذلك حسب المسافة الإنتقاله حيث يظهر في المنحنى البياني المستخرج ببرنامج الماتلاب حركة جزيئات الغبار وفق كل مستوي مدروس و أما بالنسبة للرياح فقد درسنا كيفية انتشار التركيز الطبيعي للملوثات بالنسبة للمحاور الرئيسية الثلاث ( Z,Y,X ) حيث تتبعنا مسار الملوثات وفق معادلات رياضية انطلاقا من المصدر للحصول على المنحنى البياني الذي يوافق كل محور .

يمكن أن تختلف النماذج المناخية حول العديد من النتائج والتوقعات بسبب التباين الطبيعي ، والاختلافات في التأثير ، والاختلافات في ردود الفعل .يمكن الحد من تقلب المناخ الطبيعي باستخدام مجموعة من عمليات المحاكاة مع تغييرات طفيفة في كل منها ، مما ينتج عنه نتيجة متوسطة ويكشف عن الاستجابة للتأثير .ومع ذلك ، تختلف التأثيرات بشكل كبير بين النماذج المناخية .التأثيرات هي المحرك الرئيسي لتغير المناخ ، والاختلافات الرئيسية بين النماذج تشمل الهباء الجوي . إن تأثير الهباء الجوي على توازن طاقة الأرض غير مؤكد لذلك فإن ردود الفعل المناخية للهباء الجوي ، مثل وجود وتركيز بخار الماء والسحب ، تختلف بسبب عدم اليقين في العمليات المحددة .

تتضمن زيادة دقة نموذج المناخ التحسين المستمر لاكتماله وصحته ودقته .يتضمن ذلك إضافة عمليات جديدة تمثل مكونات مثل دورات الكربون في اليابسة والمحيطات ، والتفاعلات بين قطرات السحب والهباء الجوي ، والصفائح الجليدية . تم تطوير هذه المكونات واختبارها في البداية في وضع عدم الاتصال قبل أن يتم اقترانها في نموذج المناخ والسماح لها بالتفاعل مع المكونات الأخرى .تعد نمذجة المناخ بالفعل مكثفة من الناحية الحاسوبية ، ولكن زيادة قوة الحوسبة ستسمح بعمليات محاكاة أكثر شمولاً ، وعمليات ذات معلمات ممثلة بشكل أفضل ، وإسقاطات أكثر دقة لتغير المناخ على المستويين الإقليمي والمحلي.

# قائمة المصادر والمراجع

قائمة المصادر والمراجع

1. Planton, Serge (France; editor) (2013). "Annex III. Glossary: IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change" (PDF). *IPCC Fifth Assessment Report*. p. 1450. Archived from the original (PDF) on 2016-05-24. Retrieved 25 July 2016.[1]
2. Shepherd, Dr. J. Marshall; Shindell, Drew; O'Carroll, Cynthia M. (1 February 2005). "What's the Difference Between Weather and Climate?". *NASA*. Retrieved 13 November 2015.[2]
3. C. W. Thornthwaite (1948). "An Approach Toward a Rational Classification of Climate"(PDF). *Geographical Review*. **38** (1): 55–94. doi:10.2307/210739. JSTOR 210739.[3]
4. Hughes, Lesley (2000). *Biological consequences of globalwarming: is the signal already*. p 56.[4]
5. Hughes, Leslie (1 February 2000). "Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?". *Trends in Ecology and Evolution*. **15** (2): 56–61. doi:10.1016/S0169-5347(99)01764-4. PMID 10652556. Retrieved November 17, 2016.[5]
6. Prof. T. Stocker - Introduction to Climate Modelling – note - University of Bern- (2009) – page(10-12). [6]
7. [http://www.climate.be/textbook/chapter3\\_node4.html](http://www.climate.be/textbook/chapter3_node4.html)- Introduction to climate dynamics and climate modelling - Types of models – (2008). [7]
8. Prof. T. Stocker - Introduction to Climate Modelling – note - University of Bern- (2009) – page3. [8]
9. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-atmosphere-850/> - Définition | Atmosphère | Futura Planète (futura-sciences.com) . [9]
10. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/cryosphere/elements> - Cryosphere Elements | World Meteorological Organization (wmo.int) – (2021).[10]
11. Prof. T. Stocker - Introduction to Climate Modelling – note - University of Bern- (2009) – page4. [11]
12. Flato, G., and Coauthors, 2013: Evaluation of climate models. In IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis, T. F. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, p741–866.[12]
13. <https://www.toppr.com/guides/chemistry/environmental-chemistry/what-is-biosphere-and-its-3-components> - “What is Biosphere and its 3 components “ – 2021. [13]
14. [http://www.climate.be/textbook/chapter3\\_node6.xml](http://www.climate.be/textbook/chapter3_node6.xml) - Introduction to climate dynamics and climate modelling – Energy balance models – (2008).[14]
15. [http://www.climate.be/textbook/chapter3\\_node7.html](http://www.climate.be/textbook/chapter3_node7.html) - Introduction to climate dynamics and climate modelling - Intermediate complexity models – (2008) .[15]
16. [http://www.climate.be/textbook/chapter3\\_node8.html](http://www.climate.be/textbook/chapter3_node8.html) - Introduction to climate dynamics and climate modelling - General circulation models – (2008).[16]



ملخص

لقد قمنا بدراسة النموذج الرياضي و المحاكاة للمناخ والبيئة في المناطق الصحراوية حيث ركزنا في هذه الدراسة على اهم ظاهرتين وهما الرياح والغبار وقمنا كذلك بمحاكاته باستخدام برنامج الماتلاب , حيث طرحنا التساؤل التالي ، ماهي نماذج المناخية للمناطق الصحراوية ؟ وكيف يمكن وصفها رياضيا ؟ كيف يمكننا محاكات وصفها الرياضي باستخدام برنامج الماتلاب ؟ . حيث قمنا بالنمذجة الرياضية لانواع التلوث الثلاث ( التلوث الجوي , التلوث المائي , التلوث الترابي ) وكذلك درسنا اهم ظاهرتين مهمتين وهما الرياح و الغبار مع العلم ان هذه الأخير قمنا بالتفصيل فيها لأنها أهم ظاهرة لتشكيل البيئة الصحراوية , وبعد ذلك قمنا بمحاكاة هذه النماذج الرياضية باستخدام برنامج الماتلاب . تم ملاحظة ان الغبار ينتشر ببطئ في اتجاه الريح و ينتقل وفق حالتين افقية و عمودية اما بالنسبة للرياح فإن تركيز الطبيعي للملوثات حسب اتجاه الرياح وفق المحاور الثلاث .

## Abstract

We have studied the mathematical model and simulation of climate and environment in desert areas, where we focused in this study on the two most important phenomena, which are wind and dust, and we also simulated it using the Matlab program, where we asked the following question, What are the climatic models for desert areas? How can it be described mathematically? How can we simulate its mathematical description using Matlab? . Where we have mathematically modeled the three types of pollution (atmospheric pollution, water pollution, and dust pollution).

We also studied the two most important phenomena, namely wind and dust, with the knowledge that the latter we detailed in it because it is the most important phenomenon for the formation of the desert environment, and then we simulated these mathematical models using the Matlab program. It was observed that the dust spreads slowly in the direction of the wind and moves according to two horizontal and vertical states. As for the winds, the natural concentration of pollutants is according to the direction of the wind according to the three axes.

## Résumé

Nous avons étudié les modèles mathématique et la simulation du climat et de l'environnement dans les zones désertiques, où nous avons consacré notre étude sur les deux phénomènes les plus importants, qui sont le vent et la poussière, et nous l'avons également simulé à l'aide des codes Matlab, où nous avons posé les questions suivantes question, Quels sont les modèles climatiques pour les zones désertiques ? Comment peut-on les décrire mathématiquement ? Comment simuler leur evolution avec Matlab ? .

Enfin les trois types de pollution (pollution atmosphérique, pollution de l'eau et pollution par la poussière) ont été présenté.