PETITE ENCYCLOPÉDIE
LAROUSSE

إيف سياما

التغيّر المناخي

ظاهرة الدّفيئة ■ توقع المناخ ■ أيّ مناخ للغد؟ ■ التّأثيرات على البشر ■ من المسؤول عن ظاهرة الدّفيئة؟
■ مواجهة تحدّيات المناخ
■ مسألة النّووي المعقّدة

كتاب العربية
148
الثقافة العلمية للجميع
(ثقافتك)
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

الثقافة العلمية للجميع (ثقافتك)

كتاب العربية

148

© المجلة العربية، ١٤٣٦هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

سياما، إيف

التغير المناخي. / إيف سياما؛ زينب منعم. - الرياض، ١٤٣٦هـ

١٢٨ ص ؛ ١٤ × ١٩ سم (اصدارات المجلة العربية؛ ١٤٨)

ردمك : ٢-٠٤-٨١٦٨-٦٠٣-٩٧٨

١- المناخ ٢- الجغرافيا الطبيعية أ. منعم، زينب(مترجم) ب. العنوان ج. السلسلة

ديوي ٥٥١,٤ ٨٩٠٧ / ١٤٣٥

رقم الإيداع: ٨٩٠٧ / ١٤٣٥

ردمك: ٢-٠٤-٨١٦٨-٦٠٣-٩٧٨

الطبعة الأولى 1436هـ/ 2015م

جميع حقوق الطبع محفوظة، غير مسموح بطبع أي جزء من أجزاء هذا الكتاب، أو اختزانه في أي نظام لاختزان المعلومات واسترجاعها، أو نقله على أي هيئة أو بأي وسيلة، سواء كانت إلكترونية أو شرائط ممغنطة أو ميكانيكية، أو استنساخاً، أو تسجيلاً، أو غيرها إلا في حالات الاقتباس المحدودة بغرض الدراسة مع وجوب ذكر المصدر.

رئيس التحرير: **د. عبد الله نعمان الحاج**

لمراسلة المجلة على الإنترنت:

info@arabicmagazine.com www.arabicmagazine.com

الرياض: طريق صلاح الدين الأيوبي (الستين)، شارع المنفلوطي

تليفون: 4778990 1-966 فاكس: 4766464 -1-966. ص.ب: 5973 الرياض 11432

هذا الكتاب من إصدار: **Larousse**

Le changement climatique

Copyright ©2010 All rights reserved.

تأليف: Yves Sciama

رسم الخرائط: Frédéric Mazuy

إيف سياما

التغيّر المناخي

ترجمة: زينب منعم

المحتويات

مقدمة 7

ظاهرة الدفيئة 9

مساهمة من غلافنا الجوي 10
غازات الدفيئة 12
تاريخ صاخب 14
عامل مناخي حاسم 18

توقع المناخ 21

اللجنة الدولية للتغيرات المناخية: خبير عالمي في المناخ 22
النماذج المناخية 24
العديد من التقلباتِ 26
لنتصرف ... وحالاً 30

أي مناخ للغد؟ 33

ارتفاع درجات الحرارة 34
المتساقطات 36
نحو ظواهر مناخية أكثر حدة؟ 38
ارتفاع منسوب المياه 40
السيناريوهات الكارثية 42

التأثيرات على البشر 47

هل تتجه الأنظمة البيئية نحو الزوال؟ 48
التغير المناخي والصحة 52
التغير المناخي والزراعة 56

المنشآت البشرية 60
بعض من الجيوسياسية 64

من المسؤول عن ظاهرة الدفيئة؟ 67
الانبعاثات العالمية 68
المواصلات 70
الانبعاثات المتعلقة بنظامنا الغذائي 74
تنوع المنشآت 78
الإنتاج الصناعي 82
مشكلة الطاقة 84

مواجهة تحديات المناخ 89
هدفنا: تقليل الانبعاثات بمعدل النصف 90
بروتوكول كيوتو 94
الطاقات المتجددة 96
إزالة السموم الصادرة عن وسائل النقل 100
دفن ثاني أكسيد الكربون 102
التكنولوجيا وأسلوب الحياة 104
تغيير نمط الحياة 108
قيم جديدة لمجتمع جديد 112

وجهات نظر ونقاشات

مسألة النووي المعقدة 116
معجم المصطلحات 121
فهرس 126

مقدمة

لقد انتهى فعلاً غزو تغير المناخ المفاجئ للساحة العالمية. ففي الواقع، لم تكن هذه الظاهرة حتى عام 1995 سوى فرضية علمية حصدت معارضين ومؤيدين لها يتواجهون في المجلات العلمية. لكن وفي شباط/ فبراير 2007، وإبان نشر تقريرها الرابع، وصفت اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (GIEC) ظاهرة الاحتباس الحراري الناتجة عن سلوك الإنسان بأنها «لا لبس فيها». وهذا الاستنتاج قد لقي قبولاً من العالم بأسره، كما يتضح من الأصداء الإعلامية لهذا التقرير، وخصوصاً مؤتمر بالي للمناخ الذي أعقبه. ففي هذا الاجتماع الدولي، وعلى الرغم من تعارض المصالح، لم يعترض أي بلد على استنتاجات اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (GIEC)، ولا حتى على الحاجة للحد من الانبعاثات.

لقد تم إذاً الفصل في النقاش الحاصل حول هذه الظاهرة على الرغم من أنها معقدة جداً، وتشكل بحد ذاتها مادة للبحث، مفتوحة على جميع أنواع الاكتشافات الجديدة والمثيرة للدهشة. هنا، تبدأ مرحلة اتباع سياسة جديدة؛ إذ إنه يجب علينا وفقاً لهذه الاكتشافات أن نغير نمط حياتنا، وإنتاجنا، واستهلاكنا. فمناخ سريع التغير يحتاج إلى جهود مكلفة ومعقدة للتكيف معه، بحيث يدفع المجتمع ثمنها غالياً وقد لا تكون في متناول الكثير من البلدان. خلافاً لذلك، فإن المناخ المتزعزع قد يؤدي إلى احتدام كبير غير متوقع وكارثي.

ووفقاً للتحقيقات، يبدو أن الجميع يقف على بيّنة من المشكلة. فالطبقة السياسية العالمية قد قبلت أخيراً هذا الوضع العلمي الجديد، لكن هذا القبول لا يزال حتى الآن قبولاً شفهياً بفعل ضغوط المصالح الخاصة. ولقد كانت التدابير المتخذة خجولة أو بالأحرى رمزية، إذ لا تزال الانبعاثات العالمية للغازات المسببة للاحتباس الحراري تزداد بشكل سريع. لكن الوقت ضيق وقصير، إذ إننا في كل عام نلقي بمليارات الأطنان الإضافية من الكربون في الغلاف الجوي. لذا يجب أن نوقف الآلة في أسرع وقت ممكن ونعيد توجيهها، لكي نحسّن بذلك فرصنا للخروج بشكل مريح نسبياً من مأزق المناخ. إنها مسيرة تشبه السباحة عكس التيار، نخشى إذا لم يتحرك الرأي العام ويمارس الضغوط، أن نخسر تلك الفرص.

قد يزيد التغير المناخي، المتمثل هنا بكثافة هطول الأمطار، من نسبة الفيضانات التي تعد بلا شك من الحوادث المناخية الأكثر تدميراً.

منذ سنوات ليست ببعيدة، سلطت الأضواء على ظاهرة الدفيئة المناخية، التي فرضت نفسها في فترة زمنية قصيرة كإحدى المشكلات المصيرية في القرن الحادي والعشرين، علماً بأنها ليست مسألة جديدة على الساحة العلمية، بل تم اكتشافها منذ أكثر من قرن، وهي واضحة وضوح الشمس ولا يشوبها أي غموض.

ولا تقتصر معرفتنا اليوم عن هذه الظاهرة على آليتها الفيزيائية فحسب، بل تتعداها إلى جزء من تطورها على مدى تاريخ كوكبنا، وهو ما يسعدنا كثيراً، لأنه يستحيل علينا اتخاذ أي إجراءات وقائية من دون هذه المعرفة.

نلاحظ في هذه اللقطة المأخوذة من مكوك الفضاء كولومبيا، أن الغلاف الجوي يتكون من عدة طبقات تمتاز بخصائص مختلفة يمكننا رؤيتها بوضوح. تتركز انبعاثات غازات الدفيئة في الجزء السفلي من الغلاف.

ظاهرة الدفيئة

مساهمة من غلافنا الجوي

تعود ظاهرة الدفيئة التي تؤثر على كوكبنا إلى خصائص فيزيائية تتميز بها غازات موجودة في الغلاف الجوي. وعموماً، فإن هذه الظاهرة الطبيعية مفيدة للكائنات الحية.

شفافية انتقائية

هناك وسيلة بسيطة وفي متناول الجميع لتجربة قوة ظاهرة الدفيئة، ألا وهي الدخول إلى سيارة طال رَكنُها في الشمس.

تفسَّر درجة الحرارة المرتفعة داخل السيارة والتي لا تحتمل ولا تطاق، بخاصية معينة تتسم بها نوافذ السيارة: إنها الشفافية الانتقائية، التي من خلال سماحها لأشعة الضوء المرئي بالمرور، تحتفظ بجزء من الأشعة تحت الحمراء، وتزيد بالتالي من درجة الحرارة داخل السيارة.

إن عدة غازات من الغلاف الجوي تتميز بالخصائص نفسها، ما يؤدي إلى عواقب بالغة التأثير على كوكبنا...

يتكون الإشعاع الذي تتلقاه الأرض من الشمس من 40 % من الضوء المرئي، 10 % من الأشعة فوق البنفسجية و50 % من الأشعة تحت الحمراء. يمتص الغلاف الجوي جزءاً كبيراً (يصل إلى النصف) من الإشعاع الشمسي، فيما يصل المتبقي إلى الأرض ليتحول بغالبيته إلى أشعة تحت الحمراء، وهي نوع من الإشعاع يمتصه ما يعرف بـ«غازات الدفيئة» الموجودة في غلافنا الجوي، ما يسبب ارتفاع درجة الحرارة. لكن تبادل الطاقة بين الأرض وغلافها الجوي والشمس والمنطقة المحيطة بها، هو في الواقع أكثر تعقيداً من التوازن المبسط الذي أظهرناه للتو، إذ إن مصير هذه الإشعاعات يبقى متباينا

سفانتي أرينيوس، الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1903 لأعماله حول المحاليل المائية، هو أحد المكتشفين الرئيسيين لظاهرة الدفيئة، ويعود تقديره لأهميتها إلى بداية القرن العشرين.

مفهوم معروف منذ زمن بعيد

أصدر الفيزيائي الفرنسي جوزيف فوريه في عام 1824 المفهوم الذي على أساسه يعمل الغلاف الجوي للأرض كزجاج الدفيئة. غير أن الكيميائي الإيرلندي جون تيندال هو أول من حاول تحديد حجم هذه الظاهرة، في منتصف القرن التاسع عشر، من خلال قياسه قوة امتصاص مختلف الغازات للأشعة تحت الحمراء. وقد حدد بأن بخار الماء هو أقوى الغازات الدفيئة. إلا أننا ندين بالنظرية المقبولة والمعتمدة حالياً إلى الكيميائي السويدي سفانتي أرينيوس، الذي خلص في حساباته التي أجراها في عام 1896، إلى أن تضاعف تركيز الغلاف الجوي بغاز ثاني أكسيد الكربون سوف يسبب احتراراً عالمياً نسبته 5 إلى 6 درجات مئوية، وهو رقم قريب من التقديرات الحالية.

ظاهرة الدفيئة

تتعزز آلية ظاهرة الدفيئة بفعل الأنشطة البشرية المنتجة لثاني أكسيد الكربون والميتان، وهما نوعان رئيسيان من الغازات المشاركة في هذه الظاهرة، فضلاً عن عدة غازات أخرى نادرة.

ومتنوعاً تبعاً لطبيعتها ولطبيعة العقبات التي تواجهها؛ فقد تنعكس، أو يتم امتصاصها (كلياً أو جزئياً)، وقد يتعرض توازن الطاقة فيها أحياناً إلى العرقلة بفعل ظواهر عديدة (مثل تكثُّف بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي). لكن وفقاً لقوانين الفيزياء، فإن كل القوى تتوازن في نهاية المطاف، ويسترد الغلاف الجوي مجمل الطاقة الواردة من الشمس.

ظاهرة مفيدة... إذا بقيت محدودة

تُعدّ ظاهرة الدفيئة في الأساس عملية مفيدة للحياة، إذ إن متوسط درجة حرارة كوكبنا لن يتجاوز 18 درجة مئوية تحت الصفر في غيابها، ما قد يؤدي إلى انعدام إمكان أن تتطور نماذج حياة مختلفة ومنظمة. وخير دليل على تأثير عدم التوازن في دور ظاهرة الدفيئة، هو ما يشهده كوكب الزهرة من ظاهرة دفيئة جامحة، ما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة على سطحه إلى حوالي 400 درجة مئوية، لا يصمد في ظلها أي شكل من أشكال الحياة المعروفة، فيما كان يشبه الأرض كثيراً في بداية تكوينه! ويعود هذا الواقع في الأساس إلى تكوّن غلافه الجوي من 95 % من ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وليس لأنه أقرب إلى الشمس من الأرض.

غازات الدفيئة

ثمة أنواع كثيرة من الغازات مخصصة لتدفئة غلافنا الجوي، البعض منها موجود في الجو منذ ملايين السنين، في حين أن البعض الآخر من إبداع بشري.

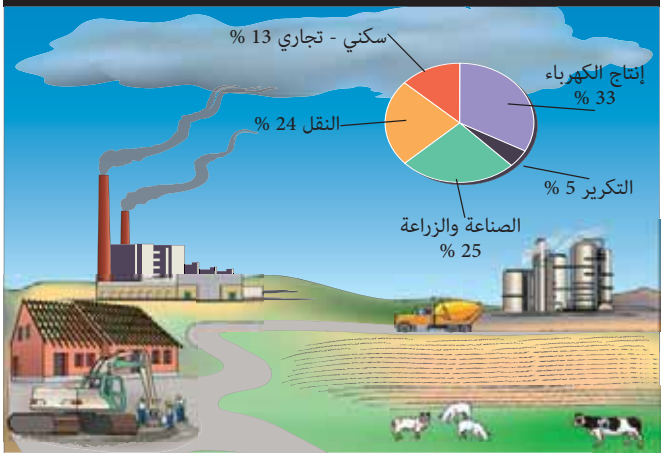
ثاني أكسيد الكربون تحت الأضواء

معجم

ج ف م ح (Ppmv)
مختصر «جزء في المليون من حيث الحجم». إن جزءاً واحداً في المليون من حيث الحجم (1 ج ف م ح) يعادل 0.0001 %، أي سنتيمترا مكعباً من الغاز لكل متر مكعب من الهواء. أما في ما يخص الغازات النادرة، فتصبح «ج ف ب ح» (ppbv) جزءاً في المليار (البليون) من حيث الحجم.

هناك العديد من الغازات المسببة للدفيئة، يرتبط تأثيرها على المناخ بعدة عوامل، من بينها: مدى فعاليتها في امتصاص الأشعة تحت الحمراء أولاً، ثم مدة وجودها في الغلاف الجوي، ثم وفرتها وأهمية المساهمات البشرية في تركيزها. إن أهمها على الإطلاق هو ثاني أكسيد الكربون (أو CO_2)، الذي يساهم حتى نسبة 40 % من إجمالي ظاهرة الدفيئة. ويمثل هذا الغاز 0.038 % من الغلاف الجوي (أو 380 ج ف م ح)، ما يبدو نسبة منخفضة للغاية. لكن عندما نعرف أن الغلاف الجوي يتكون بنسبة 99 % من الأوكسيجين والنيتروجين، وهي غازات شفافة للأشعة تحت الحمراء، نفهم ساعتئذ أن كل شيء يحدث عند مستوى الـ1 % المتبقي. فقد ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون بنحو 30 % منذ بداية العصر الصناعي، علماً بأن جزيئة من ثاني أكسيد الكربون يمكن أن تبقى في الغلاف الجوي نحو قرنين من الزمن! إن مدة بقاء انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي هي عامل مفصلي، إذ تعتمد عليها جمادية النظام، ما يعني أن العمر الافتراضي لانبعاثات غازات الدفيئة يدل على استجابة بعيدة للمناخ، حتى لو خفضنا الانبعاثات التي ننتجها.

المصادر البشرية لانبعاثات غازات الدفيئة



أهمية المياه

إن الأول بين انبعاثات غازات الدفيئة وأقلها ذكراً هو بخار الماء. فنسبة تركيز هذا الغاز في الغلاف الجوي أعلى من نسبة تركيز انبعاثات غازات الدفيئة الأخرى (0.3 %). فالمياه تساهم بنحو 55 % من ظاهرة الدفيئة، لكن وبسبب وفرتها على سطح كوكبنا، يمكن اعتبار التأثير البشري ضئيلاً جداً على تركيزها، خصوصاً أن المياه لا تبقى طويلاً في الغلاف الجوي، فقط حوالى 8 إلى 15 يوماً تقريباً.

الميتان وأكسيد النيتروز والأوزون

تتدخل ثلاثة غازات أخرى في عملية الدفيئة، كل منها بنسبة 2 %. هذه الغازات هي الميتان، أو CH_4 (1.8 ج ف م ح)، وأكسيد النيتروز، أو N_2O (0.3 ج ف م ح)، والأوزون، أو O_3 (0.03 ج ف م ح).

فالميتان يمتص بفاعلية هائلة الأشعة تحت الحمراء وذلك بنسبة 20 إلى 50 مرة أفضل من ثاني أكسيد الكربون، فضلاً عن أن الإنسان يساهم في زيادة تركيزه بسرعة أكبر من ثاني أكسيد الكربون، بحيث تخطت الضعف منذ بداية العصر الصناعي. ولحسن الحظ، يعيش الميتان في الغلاف الجوي فترة قصيرة نسبياً تبلغ نحو عقد من الزمن. لكن هذا ليس هو حال أكسيد النيتروز، الموجود منذ 120 سنة (ويمتص إشعاعاً بنسبة 253 مرة أكثر من ثاني أكسيد الكربون...)!

أما بالنسبة إلى طبقة الأوزون، فتركيبتها الكيميائية المعقدة تتسبب بتحللها باستمرار وباستعادة تركيبتها بعد ذلك. وإنه لمن الصعب حالياً تقييم مقدار إسهام الإنسان في تركيزها، لكن المؤكد هو أنها تزداد تركيزاً في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي، في حين أن تركيزها يتراجع في طبقة الستراتوسفير (أكثر من 12 كم فوق سطح الأرض): هذا هو ثقب الأوزون الشهير، وهي ظاهرة تختلف عن ظاهرة الاحترار على الرغم من وجود صلات بين العمليتين.

إن انبعاثات غازات الدفيئة القوية التي يحويها هذا البحر من الثلاجات القديمة، سوف تصل تدريجياً إلى الغلاف الجوي بمقدار ما يقوم الصدأ بعمله: هذا هو مثال عن «المفعول المؤجل» الذي تتسم به أنشطتنا التي تؤثر في المناخ.

ما ينتجه الإنسان

أخيراً، هناك سلسلة من الغازات التي ينتجها الإنسان قد يبدو تركيزها في الغلاف الجوي متناهي الصغر، إذ إن انبعاثاتها هي مليون مرة أصغر من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، غير أن دورها المناخي لا يُستهان به. هذه الغازات هي في المقام الأول مركبات كربونية هالوجينية، والأكثر شهرة من بينها مركبات الكربون الكلورية الفلورية (كلوروفلوروكربون) ومركبات الكربون الهيدروفلورية (هيدروفلوروكربون). تتميز هذه الغازات بقوة تدفئة هامة جداً، ومدة حياة في الغلاف الجوي طويلة الأمد قد تصل الى آلاف السنين، وذلك بسبب ثباتها الكيميائي.

تاريخ صاخب

في الماضي، كان تركيز انبعاثات غازات الدفيئة مختلفاً جداً؛ إذ كان من الممكن تحريرها أو تخزينها من خلال عمليات جيولوجية مختلفة كالترسيب، والبراكين...

دراسة الماضي حاجة ملحّة

بدافع من القلق الذي يسود العالم، يحرز حالياً علم مناخ العصر الجيولوجي القديم، أو مناخ العصور القديمة، تقدماً سريعاً. ففي الواقع، من الضروري أن نحدد بدقة الظروف التي سادت كوكبنا آنذاك من أجل فك شيفرة آليات العمل التي تتبع اليوم، وهي آليات عديدة، متناقضة ومعقدة. يصح هذا الأمر خصوصاً عندما نحاول وضع هذه العمليات في معادلة ما من أجل توقع تطورها المحتمل. لكن لا نتوقع أن يكشف المناخ تاريخه بسهولة: إذ يجب أن نمتلك العديد من البيانات لنحصل على صورة دقيقة مثل درجة الحرارة، وهطول الأمطار،

تكشف فقاعات صغيرة من الغلاف الجوي القديم، محتجزة داخل أسطوانات جليدية مخزنة عند درجة حرارة منخفضة، عن طريقة تغير تكوينه مع مرور الوقت.

والرياح، والرطوبة، ومستوى تيارات المحيطات المحتملة، ناهيك عن التغيرات الموسمية المحتملة! لهذه الغاية، صمم علماء مناخ العهد الجيولوجي القديم مجموعة من الأدوات الملفتة والمتنوعة، تسمح لهم بالاقتراب من ماضي كوكبنا واكتشافه بدقة.

مصادر معلومات مختلفة

أولاً، إن العينات الجليدية تستطيع أن تقدم كماً هائلاً من المعلومات لا تزال قيد الاستكشاف حتى الآن. في الواقع، تتشكل الكتل الجليدية وبخاصة الصفائح الجليدية القطبية بفعل تساقط الثلوج، التي تنشئ بتجمعها ما يكفي من الضغط لتشكيل الجليد بعد مرور فترة زمنية معينة. إن هذه الآلية تحبس فقاعات الهواء الذي من الممكن استعادته لتحليله، من خلال طحن هذا الجليد ضمن ظروف وشروط يؤمنها المختبر. بعبارة أخرى، يلتقط الجليد عينات حقيقية مباشرة من الغلاف الجوي، ثم يضع بلطف هذه المعلومات الأرشيفية في تصرف العلماء!
لكن لا تزال استعادة هذه البيانات تشكل مغامرة كبيرة، إذ تعتمد على حفر عميق جداً (أكثر من 3 كم!) في المناطق القطبية القاسية. وقد ساعدت هذه التقنية في الحصول على معلومات تفصيلية عن تطور المناخ والغلاف الجوي خلال المليون سنة الماضية.
وتشكل الرواسب البحرية، ورواسب البحيرات بدرجة أقل، مصدراً هاماً إضافياً من مصادر البيانات، إذ نجد فيها بشكل عام الكثير من بقايا الكائنات الحية، لكون الأخيرة تتحلل في الماء بسهولة أقل منها على اليابسة. ويقدم التركيب الكيميائي الخاص بهذه البقايا معلومات عن الظروف التي كانت تسود حياتهم في ما مضى (وفرة الأوكسيجين والكربون، درجة الحرارة...). كما أن هوية الأجسام التي تنتمي إليها توفر أيضاً معلومات مختلفة؛ فنعلم مثلاً أن هذا الرخوي كان يتردد إلى الينابيع الساخنة، أو أن هذه الطحالب الأحادية الخلية لم تتطور إلا في بيئات يتوافر فيها الأوكسيجين جيداً. ويعطي غبار الطلع أيضاً فكرة جيدة عن النباتات، وبالتالي عن المناخ السائد آنذاك.

مشكلة تحديد التواريخ

لا تنطوي عملية إعادة تشكيل مناخات الماضي على جمع بيانات مناخية فحسب (فترة الجفاف أو البرد)، بل على منحها تاريخاً معيناً أيضاً! ويمكن حل هذه المشكلة بفضل متحجرات طبقية، أي التي تميز عصراً ما (قصير إذا كان ذلك ممكناً) يكون معروفا. كما نعود أيضاً إلى الخواص الفيزيائية لذرات مختلفة توجد بأشكال عدة، بحيث تقدم نسبة كل منها معلومات إضافية. كذلك فإن الكربون الموجود بصورة عامة على شكل C12، موجود أيضاً في الغلاف الجوي على شكل C14 ينتجه الإشعاع الكوني. إلا أن C14 يتحلل طبيعياً وفق نسبة معروفة (يختفي نصفه في نحو 5700 سنة) ما إن يحتجب عن الإشعاع، أي عندما يدفن تحت الأرض. وهذا الأمر يوفر طريقة جيدة لتحديد تاريخ التضاريس الرسوبية.

غلاف جوي بنسبة أقل من ثاني أكسيد الكربون

كلما ابتعدنا في الزمن، أصبحت المعلومات أقل دقة. إذ تبدو المتحجرات نادرة جداً وأكثر تضرراً، ذلك أن تحركات القشرة الأرضية تتسبب بتدمير قيعان المحيطات وتجديدها بشكل

يقدم هذا اليعسوب المتحجر والمحتجز في رسوبيات من العصر الطباشيري معلومات قيّمة عن المناخ الذي ساد في عصره.

دائم. مع ذلك، فإننا نعلم أن تاريخ الأرض بدأ منذ نحو 4.5 مليارات سنة، وعلى الأرجح في ظل غلاف جوي ساخن، مليء بثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، وهما مركبان تسببا بمستوى دفيئة لم يلاحَظ بعدها بأي شكل من الأشكال على كوكبنا. ثم تكثف بخار الماء الأرضي، فنتج منه طوفان ضخم أسس لتكوّن المحيطات. ثم وبفعل نشاط الكائنات الحية، واصلت ظاهرة الدفيئة انحسارها، بعد الانخفاض التدريجي في كمية ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي. وتم تدريجياً تخزين هذا الكربون على شكل طبقة ضخمة من الحجر الجيري، تشكلت في أعماق المحيطات بفعل العمل المشترك لنوع من البكتيريا (البكتيريا الزرقاء) والكائنات الصدفية من جهة، ومن خلال الغطاء النباتي من جهة أخرى. كذلك فإن حقول الفحم والنفط والغاز الطبيعي المتأتية من الغابات القديمة التي تكدست بقاياها المليئة بالمواد العضوية، قد عملت على عزل الكربون تدريجياً من الغلاف الجوي.

تأثير العوامل الجيولوجية

لقد ترافق انحسار ظاهرة الدفيئة مع ارتفاع درجة حرارة الشمس، بحيث زادت قوة إشعاعها بنحو 30 % مع تحولها من نجمة صغيرة إلى نجمة مكتملة، فبقيت بذلك حالة سطح الأرض مستقرة نسبياً. وتجدر الإشارة إلى أن النشاط البركاني قد يعيد توزيع جزء من الكربون المخزن في جوف الأرض. وهكذا كان العصر الطباشيري الأعلى، قبل 80 مليون سنة، الفترة الأكثر حراً في تاريخ كوكبنا، والتي حلت بعد مرحلة بركانية متفجرة أنتجت نسبة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أعلى بثلاث مرات من النسبة الحالية. لذا فمن المعتقد أن الأرض كانت أكثر دفئاً بنسبة 6 إلى 10 درجات مئوية من اليوم. في المقابل، فإن ظهور

لقد سمح تشكل هذه الجروف الصخرية الجيرية بفعل كائنات دقيقة بحرية، بسحب كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

الجبال أتاح تخفيض نسبة شحن الغلاف الجوي بثاني أكسيد الكربون، وذلك عن طريق التفاعلات الكيميائية التحويلية للصخور التي تقوم بتخزين الكربون. وهكذا فإن تكون جبال الهيمالايا، منذ 10 ملايين سنة، قد خفض إلى النصف تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وساهم بالتالي في تبريد عالمي نسبي لا يزال مستمراً إلى عصرنا الجيولوجي الحالي.

الأرض، كرة من الثلج

يعتقد بعض العلماء أنه من الممكن منذ نحو 700 مليون سنة، أن يكون كوكبنا قد شهد عدة أحداث كانت ستغمره بالكامل وبشكل دائم بالثلج، أحداث يصفها العلماء بتعبير مجازي «الأرض، كرة من الثلج». ومن السيناريوهات المفترضة، تدهور المناخ باتجاه برد شديد ناجم عن نمو الصفائح الجليدية القطبية، التي بإمكانها أن تعكس قدراً أكبر من الإشعاع الشمسي، ما يفاقم في المقابل من المناخ البارد. وفي نهاية المطاف يستقر كوكبنا عند حرارة 40 درجة مئوية تحت الصفر، حتى وقت تبدأ فيه أحداث بركانية شاملة تنشر ما يكفي من ثاني أكسيد الكربون، لتدفئة الكوكب من جديد وإذابة الجليد.

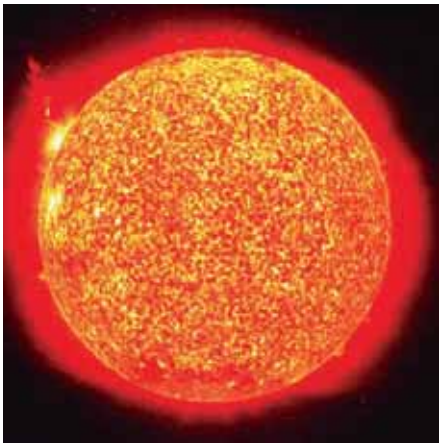
عامل مناخي حاسم

لكونها تضخم من تأثير التغير في نسبة الإشراق الشمسي على المناخ، فإن ظاهرة الدفيئة تضطلع بدور مناخي رئيسي، وليس هامشيا.

المناخ تحت تأثيرات متعددة

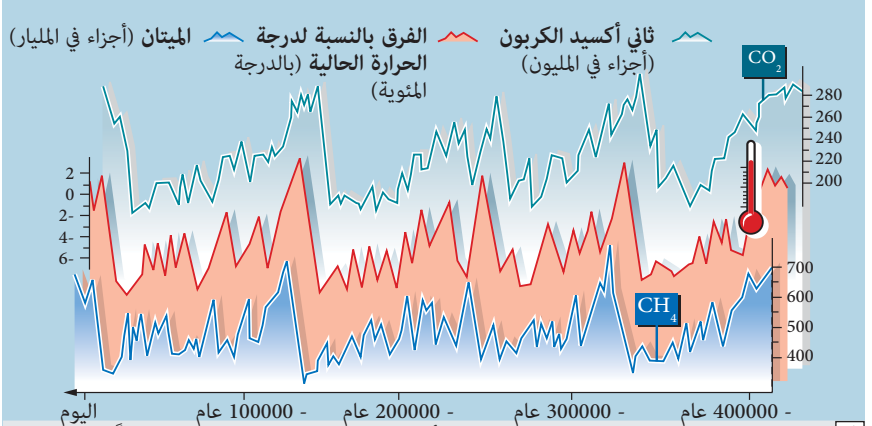
لقد أدرك العلماء منذ فترة طويلة تأثير ظاهرة الدفيئة على المناخ، نظراً لكونها تغير التوازن الحراري لنظام الأرض/ الغلاف الجوي، إلا أن أهمية هذا التأثير كانت موضع نقاش على مدى عقود. وفي النهاية، ظهر أن ثمة العديد من العوامل الأخرى قد تؤثر في المناخ، يمكن اعتبارها بطريقة ما أكثر حسماً من ظاهرة الدفيئة.

البداية مع كمية الإشعاع الشمسي المتلقى، حيث إن هذه الكمية تتغير في المقام الأول وفقاً للشمس نفسها التي يتغير سطوعها؛ فهي تشع اليوم بنشاط (طاقة) أكبر يصل إلى ذروته، بخلاف ما كان عليه الأمر منذ عدة مليارات من السنين. كما أن كمية الإشعاع الشمسي المتلقى تعتمد أيضاً على مدار الأرض الذي يخضع لتغيرات دورية؛ إذ إنه يشكل قطعاً إهليلجياً يزداد امتداده أو يقل، ما يبعد كوكبنا عن نجمه أو يقربه إليه بحسب إيقاع تغيراته. كذلك يختلف ميلان محور الأرض بالنسبة إلى مسطح المدار. كل ذلك يؤثر على توزيع الإشعاع الشمسي وفقاً لخطوط العرض والمواسم. فضلاً عن ذلك، يتأثر المناخ أيضاً بتكتونية الصفائح، أي بشكل القارات وموقعها. تالياً، فإن وجود قارة حالياً في القطب الجنوبي، قد سحب من الدورة المائية ما يعادل سماكة 120 متراً من المياه المحيطية، التي يحتويها هذا الكوكب – وهو أمر لا يستهان به – وذلك من خلال تشكل غطاء جليدي بسماكة عدة كيلومترات فوق تلك القارة، في حين أن سماكة الجليد البحري في القطب الشمالي (حيث لا توجد أية قارة) لا تتعدى بضعة أمتار. كذلك، فلقد أنتج تشكل السلاسل الجبلية، كجبال الهيمالايا، ظواهر مناخية هامة مثل الرياح الموسمية. أخيراً، فإن موقع القارات يؤثر أيضاً في التبادلات الحرارية الخاصة بالكوكب، وذلك من خلال تشكيله التيارات البحرية.



تختلف كمية الطاقة المنبعثة من الشمس بمرور الوقت، تماماً كما يختلف موقعها بالنسبة إلى الأرض. إلا أن هذه التغيرات لا تكفي لشرح التطورات المناخية.

درجات الحرارة، ونسبتا الكربون والميتان



لطالما كان منحنى متوسط درجات الحرارة على الأرض خلال الـ450000 سنة الماضية، موازياً لمنحنيي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وغاز الميتان؛ هذا ما يكشفه في أي حال جليد القارة القطبية الجنوبية. وهكذا فإن نشر كميات هائلة من هذين الغازين، وهذا ما نقوم به حالياً، سوف يرفع بسرعة من حرارة كوكبنا.

منحنيات معبّرة

في عام 1999، نشرت مجلة Nature نتائج تحليلات أولى العينات الجليدية المأخوذة من القارة القطبية الجنوبية. خلصت النتائج إلى أن منحنى درجات الحرارة يتبع منذ 500000 سنة، وإلى حد كبير، منحنيي كميتي ثاني أكسيد الكربون والميتان، وهما غازا الدفيئة الرئيسيان الناتجان من الأنشطة البشرية. كذلك فإن المنحنى موازٍ للدورات الفلكية للإشراق الشمسي، إلا أن التغيرات في الإشراق التي يتلقاها كوكب الأرض تبقى ضعيفة جداً. ما تعلمنا إياه هذه البيانات هو أن أثرها مضخّم، وأن هذا التضخم ناتج عن ظاهرة الدفيئة التي، بالتالي، تتسبب بما يسمى ردة فعل إيجابية على ارتفاع درجات الحرارة. وعلى الرغم من أننا ما زلنا نجهل الآليات الدقيقة، إلا أن العلماء توقعوا فرضيات عدة. كذلك نحن نعلم أن مياه المحيطات تذيب ثاني أكسيد الكربون بشكل أفضل عندما تكون باردة، لذا فإن أي احترار، مهما كان بسيطاً، سيؤدي من دون شك إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون، الذي يزيد بدوره من ظاهرة الاحترار... ويمكن افتراض سيناريو مماثل لغاز الميتان أيضاً. أخيراً يمكننا القول إن ظاهرة الدفيئة تضطلع بدور رئيسي في المناخ العالمي.

توقيع الإنسان

من المعروف أن البيئات الطبيعية تبث أو تخزن انبعاثات غازات الدفيئة. وهنا فإن من حقنا أن نتساءل عما إذا كان ازديادها في الغلاف الجوي، والملحوظ منذ بداية العصر الصناعي، لا يرجع إلى ظاهرة طبيعية. في الواقع، لا يملك الكربون الأحفوري الأصل التركيب نفسه للكربون الموجود على سطح الكرة الأرضية (فهو لا يحتوي على C14). كذلك فإن التحاليل التي تجرى على الغلاف الجوي تظهر عاماً بعد عام تراجعاً نسبياً في نسبة الـC14، ما يبيّن أن المذنب هو في الواقع الوقود الأحفوري...

إن توقع المناخ هو بلا شك من أعظم التحديات العلمية. فهو في الواقع، على مفترق طرق بين عدد هائل من التخصصات، ويركز على ظواهر ذات تأثيرات عالمية، وفي تفاعل ثابت، ما يجعل من دراستها أمراً صعباً للغاية. مع ذلك فقد بدأ الباحثون بتركيب سيناريوهات أكثر واقعية خاصة بمستقبل مناخنا، تزداد صدقيتها سنة بعد سنة.

فعلينا إذاً، من خلال هذه الأدوات غير المكتملة، أن نستبق ارتفاع درجات الحرارة في المستقبل، ونسعى جاهدين للحد من تأثيراتها.

تُعدّ الشبكة الدولية لمحطات المراقبة (هنا محطة «ماونت واشنطن» في الولايات المتحدة) جزءاً من الأدوات التي تمكننا من رصد التطورات المناخية.

توقع المناخ

اللجنة الدولية للتغيرات المناخية: خبير عالمي في المناخ

لقد أدى تعقد قضايا المناخ إلى ولادة منظومة مبتكرة من الخبراء، ألا وهي اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (GIEC أو IPCC)، مسؤوليتها إعلام الرأي العام كما إعلام صناع القرار بما لديهم من معلومات ومعطيات.

مئات من العلماء من 170 دولة مختلفة

إن اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (بالإنجليزية Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) هي المصدر الرئيسي للمعلومات العلمية النوعية المتعلقة بالاحترار العالمي (وقد تمت العودة إليها في كثير من الأحيان عند تأليف هذا الكتاب). ونظراً إلى أهمية القضايا التي يضطلع بها، يستحق هذا الفريق أن يعرّف به على الأقل لتبرير صدقية تحليلاته.

في عام 1986 أنشأت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، اللجنة الدولية للتغيرات المناخية. في الواقع، إن هذه اللجنة ليست منظمة تعنى بالأبحاث بل هي تقوم بـ«تقييم المعطيات العلمية والتقنية والاجتماعية والاقتصادية، التي تتعلق بخطر تغير المناخ الناتج من أعمال الإنسان». ويقتضي عملها أن تقدم، على فترات منتظمة، تقارير تلخص المعطيات العلمية حول تغير المناخ في وقت معين.

لتحقيق ذلك، تستعين اللجنة الدولية للتغيرات المناخية بمئة عالم يُعدّون من المراجع في اختصاصاتهم، ويمثلون أفضل تمثيل تنوع الدول الأعضاء الـ170. ونظراً إلى تداخل الاختصاصات في مجال علم المناخ، فإن هؤلاء العلماء هم على حد سواء اختصاصيون في علم المناخ، وجغرافيون واقتصاديون وعلماء في الديمغرافيا، واختصاصيون في علم الجليد، وعلماء فيزياء الغلاف الجوي... إلخ.

نظرية المؤامرة

إن منتقدي اللجنة الدولية للتغيرات المناخية ليسوا كثراً، وهم نادراً ما يكونون من العلماء. فمن الصعوبات الرئيسية التي يواجهونها، هي أن يشرحوا لماذا تسعى مجموعة متوافقة من العلماء والباحثين، للمصادقة على فكرة خاطئة، موافقين بذلك على نوع من «المؤامرة» الفكرية واسعة النطاق. إضافة إلى ذلك، ينبغي أن يقدّم تفسير عن سبب موافقة معظم المؤسسات الصناعية الكبرى، التي أصبحت تعترف حالياً بالتغير المناخي، على هذه المؤامرة (بما في ذلك مجموعة إكسون النفطية التي تُعتبر تاريخياً رأس الحربة والممول الرئيسي للتشكك المناخي، والتي اعترفت أخيراً بالاحترار). كما يجب أن يقدّم تفسير عن سبب اعتراف دول العالم الآن، بما فيها الولايات المتحدة والمملكة العربية السعودية، بأن الأنشطة البشرية تشكل خطراً على استقرار المناخ.

تقارير بالإجماع

يأخذ هؤلاء الاختصاصيون علماً بكل ما كتب من دراسات علمية كلٌ في إطار اختصاصه، ومن ثم يكتبون التقارير التي توزع بعدئذ على مجموعة من المتخصصين (آلاف الأشخاص) لكي يطلعوا عليها، فيُبدون تحفظات معينة، أو يقدمون اقتراحات... إلخ.

يُستخدم هذا الجهاز الذي يأخذ شكل كرة بلورية لقياس قوة الإشعاع الشمسي، أما الهدف منه، في الواقع، فهو توقع مستقبل المناخ.

تُجمع هذه الردود، وتُدرس، ثم تُدمج، عند الحاجة، في التقارير. تخضع التقارير بعد ذلك للتصويت في اجتماع الجمعية العمومية الخاصة باللجنة الدولية للتغيرات المناخية. تضم هذه الجمعية، فضلاً عن العلماء، ممثلين سياسيين عن الدول الأعضاء (ومن بينها الولايات المتحدة والصين والمملكة العربية السعودية). ولاعتماد التقارير والتوصيات، يجب أن تحصل على مجموع الأصوات، وهذا ما لا يزال سارياً حتى الآن.

بيانات مرجعية عامة

إن الخبراء الذين يعملون لحساب اللجنة الدولية للتغيرات المناخية، وعلى الرغم من كونهم متطوعين، يتمتعون بمكانة مرموقة داخل المجتمع العلمي. ويمكن اعتبار التقرير الأخير للجنة الدولية للتغيرات المناخية، والذي نشر عام 2007 (وغالباً ما يشار إليه بالأحرف الأولى AR4 لـ «Assessment Report 4» (أي التقرير التقييمي رقم 4))، خلاصة شاملة للمراجع الخاصة بمجال المناخ، ويزيده أهمية التطور الهائل الذي شهدته البحوث المناخية في السنوات الأخيرة، والتي لُخصت في هذا التقرير.

تتوافر تقارير اللجنة الدولية للتغيرات المناخية باللغة الإنجليزية على الموقع الإلكتروني www.ipcc.ch، كما نجد أيضاً على هذا الموقع «ملخصات مخصصة لصناع القرارات»، وهي أكثر تبسيطاً، ومترجمة إلى عدة لغات. يحتوي تقرير عام 2007 أكثر من 1000 صفحة، تظهر فيها بوضوح ملخصات قصيرة لكن شاملة.

النماذج المناخية

تسمح المحاكاة الحاسوبية، المبنية بدقة من خلال قوانين الفيزياء، بتوقع مناخ الأرض في المستقبل.

تقسيم الغلاف الجوي إلى مكعبات

كيف لنا أن نحصل على معلومات تتعلق بسلوك كوكبنا بعد 50 أو 100 سنة؟ لهذه الغاية، اضطر العلماء إلى بناء نماذج مناخية تعتمد على المحاكاة الرمزية لسلوك الغلاف الجوي عبر برامج الكمبيوتر، وذلك لاستحالة القيام بالتجارب في ظروف حقيقية. ولتحقيق ذلك، فقد قسموا الغلاف الجوي إلى عدد محدود من النقاط، أو بدقة أكثر إلى وحدات حجمية، أو «قوالب» تشبه اللبن، يختلف حجمها وفق دقة النموذج. وغالباً ما يكون ضلع كل من هذه «القوالب» – المسماة أيضاً «خلايا» – بطول يراوح بين 200 و300 كلم في النماذج العالمية، وأقل من ذلك في النماذج الإقليمية، ويصل ارتفاعها غالباً إلى كيلومتر واحد.

تحدد الظروف السائدة في كل خلية (درجة الحرارة، الرطوبة، الضغط، تركيز هذا الغاز أو ذاك، ملوحة البحر...) استناداً إلى حالة النموذج الأولية (وغالباً ما تكون هذه الحالة الأولية هي الوضع الحالي، أو الوضع الذي كان سائداً في عام 1990، وهو عام مرجعي للاتفاقات الدولية). يخضع التطور المنطلق من الشروط الأولية السائدة إلى أنظمة من المعادلات تسعى إلى مقاربة الظواهر الطبيعية بشكل أفضل؛ مثل انتشار الغازات، توصيل الحرارة، خصائص الهواء البصرية، وغيرها من الظواهر. وتكمل هذه التجارب بتشغيل النماذج، ومراقبة سلوك النظام خلال فترات محددة متباعدة وطويلة (غالباً ما تمتد لعدة عقود).

تقنيات مختلفة لتصميم النماذج

هناك عشرون نموذجاً عالمياً يعترف بها المجتمع الدولي، نذكر منها: نموذج مركز هادلي في المملكة المتحدة؛ Community Climate Model (CCM) بنسخاته المختلفة، والذي أعده المركز الوطني لأبحاث الغلاف الجوي في الولايات المتحدة؛ نموذج معهد بيار سيمون لابلاس (IPSL) في فرنسا؛ نموذج معهد بوتسدام لبحوث التأثيرات المناخية (PIK) في ألمانيا؛ وبشكل رئيسي، نموذج المركز الأوروبي للتوقعات الجوية المتوسطة المدى (CEPMMT أو ECMWF)، ومقره في إنكلترا لكنه مركز أوروبي. ولئن كان من المستحيل تمثيل كل الظواهر عند حدوثها، فإن علم تصميم النماذج يعتمد على حسن انتقاء الظواهر وإدراجها في نموذجه، في مقابل

تقليص حجم الخلايا

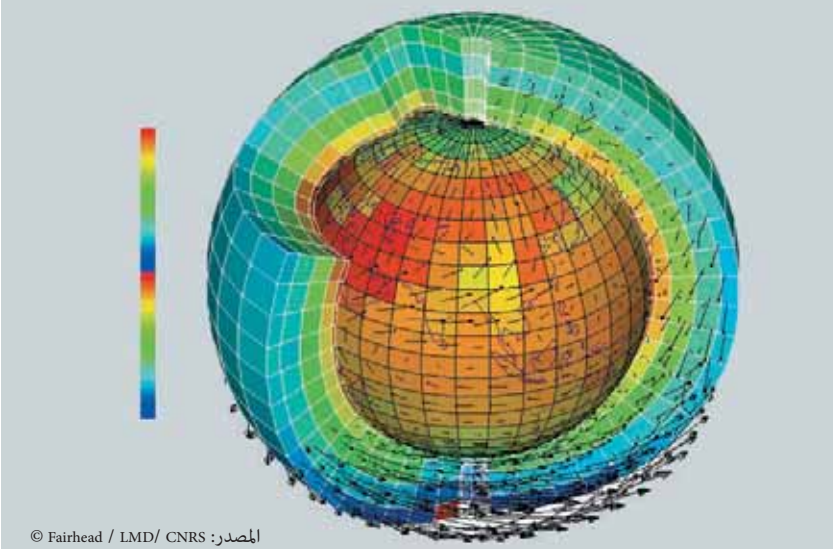
من الأهداف الرئيسية التي يسعى مصممو النماذج إلى تحقيقها، تصغير حجم خلايا النماذج. إن العديد من الظواهر، خصوصاً تلك التي تتعلق بالدورة المائية (تكوّن السحب، الأمطار...)، تحدث وفق مقاييس أصغر بكثير من تلك المستخدمة. لكن هذا التصغير للخلايا يتطلب في المقابل زيادة كبيرة في القدرة الحسابية...

تهميش أخرى يراها لا تستحق الذكر أمام الظواهر الأولى. كذلك، يجب على المعادلات الممثلة للعمليات عند حدوثها أن تُظهر الواقع قدر المستطاع! في الواقع، فإنه من خلال هذه النقاط المختلفة تتميز البرامج الموجودة حالياً بعضها عن بعض.

إجماع حول ظاهرة الاحتباس الحراري

للتحقق من صحة عملهم، يختبر مصممو النماذج برامجهم على المناخات التي سادت في الماضي. فالعلماء يمتلكون مثلاً مجموعة كاملة، إلى حد ما، من سجلات درجات الحرارة وكميات الأمطار منذ عام 1860، بحيث تشكل مرجعاً للتحقق من صحة تشغيل المختبرات. ومن المثير للاهتمام أن نلاحظ، أنه على الرغم من تنوع المختبرات والوسائل العلمية، فقد أتت نتائج مصممي النماذج متجانسة إلى حد كبير، خصوصاً في ما يتعلق بدرجات الحرارة. فما من نموذج من النماذج الحالية يتوقع، مثلاً، درجة حرارة مستقرة في أفق عام 2100. كما أن ما من نموذج استطاع أن يشرح، من خلال العوامل والظواهر الطبيعية فقط، ارتفاع درجة الحرارة عالمياً بمقدار 0.74 درجة مئوية منذ قرن إلى اليوم.. وهذا ما يثبت مسؤولية الإنسان.

نموذج مناخي



المصدر: © Fairhead / LMD/ CNRS

تقسم النماذج المناخية الغلاف الجوي إلى سلسلة من «الخانات» تتميز بخصائص عدة مثل درجة الحرارة، الضغط، الرطوبة، سرعة الرياح، وما إلى ذلك. ثم تحسب تفاعلاتها بواسطة معادلات رياضية. كلما كانت المربعات صغيرة، كان النموذج دقيقاً جغرافياً... وتطلّب قدرة حسابية أكبر!

العديد من التقلبات

لا يزال قياس العديد من الظواهر بالأرقام أمراً صعباً، هذا إن لم يُسأ فهمها. وهذه لمحة سريعة عن أهم الصعوبات التي تعترض مصممي النماذج.

يعد تطور نسبة الغيوم من المظاهر المناخية الأصعب توقعاً في المستقبل، إلا أنه سيؤثر بشدة في ظاهرة الاحتباس الحراري.

آثار مرتدة ذات إشكالية

من الصعب توقع الظواهر المناخية بوجه خاص، ذلك أن بعضاً منها يدخل ببساطة في إطار ما يسمى بنظرية الفوضى. وبصورة عامة، ثمة تقلبات علمية كثيرة ومتنوعة تشوب دقة النماذج وصدقيتها. فالمناخ، في الواقع، هو نتيجة العمليات التي تحدث في الوقت نفسه في جميع البيئات الحية، والمحيطات، والغلاف الجوي، والتربة، والجليد... تتفاعل هذه الظواهر المختلفة في ما بينها أثناء تحركها لتسبب بذلك ما يسمى بالآثار المرتدة.

يصعب قياس الآثار المرتدة هذه، إذ إن بعضها يكون سلبياً ويعارض تطور النظام. وبالتالي، عندما يرتفع ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة، يتفاعل الغطاء النباتي بتسارع نموه (في

غضون قرن، تسارعت إنتاجية الغابات بنسبة 30 % في المناطق المعتدلة)، ويخزن بذلك المزيد من الكربون ويبطئ عملية الاحترار العالمي. أما عندما ترتفع درجة حرارة المحيطات، يحدث أمر معاكس؛ إذ تنخفض كمية ثاني أكسيد الكربون المذابة وفق قانون أساسي في الفيزياء، وفي المقابل يسرّع ثاني أكسيد الكربون المنبعث من ارتفاع درجة الحرارة، ما يولد أثراً مرتداً إيجابياً... وهناك العشرات من الآثار المرتدة المحتملة، غالباً ما يشكل أخذها بعين الاعتبار مشكلة بحد ذاته.

معجم

نظرية الفوضى: نظرية تهتم بالظواهر «غير الخطية»، حيث إن حدوث تغيير متناهي الصغر في الحالة الأولية، يحول جذرياً الحالة النهائية. إن وضع معادلة لمثل هذه الظواهر هو بالطبع إشكالية كبيرة.

غيوم وهباءات جوية

تشكل الغيوم مصدراً آخر للتقلبات. فنحن نعرف حق المعرفة أن بخار الماء يعد مصدراً قوياً لغازات الدفيئة، لذا يؤدي الاحترار الناتج إلى توليد آثار مرتدة إيجابية كبيرة طالما أنه، بزيادة التبخر، يزيد من كمية بخار الماء في الهواء. لكن الواقع أن بخار الماء هذا يشكل غيوماً بسرعة، فتختلف التأثيرات عندئذ وتتنوع. لتبسيط الأمور، فإن الغيوم الرقيقة والمرتفعة (من نوع الطخرور Cirrus) تسمح بمرور نسبة كبيرة من ضوء الشمس وتحصر في الوقت نفسه الأشعة تحت الحمراء المنعكسة من الأرض. لهذه الغيوم إذاً إسهام واضح في رفع درجات الحرارة. في المقابل، تعكس السحب المنخفضة والكثيفة معظم ضوء الشمس، فتولد تأثيراً معاكساً. لكن دينامية هذه السحب – المعقدة في حد ذاتها – تعتمد أيضاً على عوامل محلية مقياسها أصغر بكثير من خلايا النماذج... كذلك يواجه العلماء مشاكل مماثلة مع ما يسمى الهباءات الجوية (aérosols)، أي قطرات الماء أو الغبار المعلقة في الجو، والتي ازدادت بشكل مطّرد منذ بداية العصر الصناعي. هنا أيضاً، تميل الهباءات الجوية الداكنة (مثل السخام) إلى امتصاص المزيد من الحرارة، في حين تقوم الهباءات الأفتح لوناً (مثل الكبريتات) بمفعول العاكس للحرارة. والأسوأ من ذلك أن الهباءات الجوية تؤثر بشكل غير مضبوط في تشكيل الغيوم، وذلك من خلال توفيرها نوى التكثف لبخار الماء.

تسمح القواقع الجيرية التي ينتجها بعض الكائنات الحية الدقيقة البحرية بتخزين كميات كبيرة من الكربون في المحيطات، غير أن تطور هذه العملية يبقى غير واضح.

كائنات حية لا يمكن توقع وجودها

يصعب توقع ردود فعل الكائنات الحية إزاء الاحترار، وتالياً فإنه يصعب نمذجتها. في الواقع، تخزن هذه الكائنات كميات

مفاجأة سعيدة؟

نظراً إلى تشعب هذا الموضوع وتعقيده، يميل البعض إلى وضع آمالهم في بعض العمليات الفيزيائية غير المتوقعة التي قد تنشأ فجأة، فتجنبنا حالة الاحترار المناخي التي أعلن عنها الخبراء. لكن التطور المتوازي تقريباً لدرجة الحرارة وتركيزات ثاني أكسيد الكربون والـ CH_4 في الغلاف الجوي، والذي كشفت عنه مجلة Nature في عام 1999، يطعن في هذا الأمل. في الواقع، يبيّن منحنى الرسم البياني أنه في خلال الـ 450000 سنة الماضية، لم تنفصل درجة الحرارة قط عن تركيزات غازات الدفيئة! مع ذلك، لا يمكن نظرياً استبعاد مفاجأة، خصوصاً ونحن نشهد الآن على مستوى لثاني أكسيد الكربون لا سابق له. والمفاجأة، من حيث التعريف، عادة ما تكون جيدة بقدر ما قد تكون سيئة، لكن في هذه الحالة، فإن احتمالات أن تكون المفاجأة سيئة سوف تتغلب إذا لم نخفض انبعاثاتنا.

ضخمة من الكربون وتطلقها، لا سيما في المحيطات، من خلال العوالق البحرية. فتشكل الطحالب الأحادية الخلية (الدياتومات) قواقع من الكربون، تسقط إلى قاع المياه عندما تموت الطحالب. يؤدي هذا الأمر إلى «هطول» كمية كبيرة من الكربون من السطح إلى أعماق البحار حيث يتراكم هناك. لكن، قد تستبدل الدياتومات التي لا تتحمل الاحترار بطحالب أخرى أقل تصديراً للكربون. هذا التطور، إذا تأكد، يؤدي إلى عواقب وآثار خطيرة. في المقابل، هناك العديد من العمليات المماثلة يتطلب توقعها تطورات معينة.

قلق حول الميثان

عنصر مناخي آخر يشكل مشكلة لمصممي النماذج ألا وهو الميثان، أحد غازات الدفيئة الأكثر فعالية من ثاني أكسيد الكربون، على الرغم من أنه يبقى في الغلاف الجوي وقتاً أقل بكثير. يسمى الميثان في بعض الأحيان «غاز التحلل»، لأنه صادر عن بكتيريا تسبب تحلل المواد العضوية في ظل الظروف اللاهوائية، أي في غياب الأوكسيجين. إن هذه البكتيريا موجودة، خصوصاً في الجهاز الهضمي للحيوانات آكلة الأعشاب، وأيضاً في جميع الأراضي الرطبة والمستنقعات في العالم أجمع (وتحديداً في حقول الأرز). لكن عند ازدياد نسبة هطول الأمطار نتيجة ارتفاع درجات الحرارة، لا يُستبعد زيادة انبعاثات غاز الميثان أيضاً بطريقة تلقائية.

يكمن جزء أساسي من مناخ المستقبل في التربة الصقيعية التي تحتل سهول التندرا الجليدية الشاسعة في القطب الشمالي.

إضافة إلى ذلك، تبدأ الأرض المتجمدة في أقصى الشمال (بما في ذلك كندا وسيبيريا) في الذوبان بسبب ارتفاع درجات الحرارة. فيسبب ذوبان جليد التربة العميقة في البداية مستنقعات ضخمة منتجة للميثان بكميات هائلة. من الممكن بعدها أن يستقر هذا الإنتاج الكثيف أو حتى أن يتوَقف إذا نبتت الغابات في هذه المناطق... لكننا لا نعرف بأية وتيرة، ولا ما إذا كانت هذه الحالة قابلة للتعميم. وقد يستغرق الأمر بضع سنوات قبل تحويل هذه الظواهر بشكل صحيح إلى نماذج.

وتبقى الحجج والاستنتاجات صالحة

إن وجود صعوبة ما في وضع معادلات كمية لعمليات معينة لا يُعيب بالضرورة النماذج القائمة. فمن الممكن ربما إهمال الظواهر غير المؤكدة أو تمثيلها بتقديرات تقريبية، دون أن يؤثر ذلك في صحة النموذج الكلي. خلاصة القول أنه على الرغم من صعوبة تحديده بالأرقام، فإن الاحترار العالمي المقبل الناتج عن تأثير الأنشطة البشرية يُعد حقيقة محتومة لدى الأوساط العلمية.

لنتصرف ... وحالاً

إن معلوماتنا المناخية الناقصة لا تحكم علينا بالشلل، إذ إن هناك توجهات مثبتة ومؤكدة كافية للتصرف حالاً فيما تستمر الأبحاث.

إدارة فجوات المعرفة

هل يمكن أن نكون فعلاً متأكدين من ارتفاع درجة حرارة المناخ إذا كانت النماذج غير كاملة، وإذا كان المناخ معقداً (حقيقة تؤكدها شبه استحالة توقع الطقس لأكثر من 7 أيام!)، وإذا كنا نكتشف بشكل دوري ظواهر جديدة؟ وهل ثمة ما يبرر إجراء تغييرات مؤلمة في طريقة حياتنا على أساس معرفة ناقصة وغير مكتملة؟ هل باستطاعتنا بناء قرارات خطيرة على أساس علم غير كامل؟ إن جميع هذه الأسئلة أساسية جداً بالنسبة إلى مستقبلنا. ففي القضايا البيئية، يغدو الشك العلمي الحجة الأساسية لأنصار الوضع الراهن، سواء كانوا من الأفراد أو المؤسسات التجارية أو الحكومات. ومع ذلك، فإن هذه الحجة غير مقبولة بشكل قاطع وواضح لأنه أولاً، يُجمع المجتمع العلمي تقريباً على توقع ارتفاع في درجة الحرارة يطال الكوكب بأكمله. في الواقع، إن أياً من النماذج المناخية العالمية الاثنين والعشرين التي يأخذها المتخصصون حالياً على محمل الجد، يتوقع استقراراً مناخياً. بعبارة أخرى، فإن الخلافات ليست سوى على تواتر التغيرات المعلنة، وحجمها، وتوزعها في العالم.

لكن هذا الإجماع لا يلقى دائماً استقبالاً حسناً من الجمهور وذلك لسببين: الأول هو طابعه الجديد نسبياً؛ ففي تقرير اللجنة الدولية للتغيرات المناخية لعام 1995، كان لا يزال الاحترار العالمي يعتبر احتمالاً، بينما في عام 2007 اعتُبر أنه «ظاهرة لا لبس فيها». على الرغم من أن هيئات المجتمع العلمي اعتادت مواكبة أعمال بعضها بعضاً ودمج التغيرات بسرعة، إلا أن هذا الأمر لا ينطبق على وسائل الإعلام والسياسيين المسؤولين عن نقل هذه التغيرات وأخذها بعين الاعتبار.

خلل وظيفي في وسائل الإعلام

أما السبب الثاني فينتج عن استفادة عدد من الأفراد «المتشككين» حول تغير المناخ من جمهور إعلامي، لا علاقة له باختصاصهم العلمي، وغير معترف بهم في أوساط الباحثين. والأكثر شهرة منهم على الصعيد الدولي، هو الدنماركي بيورن لومبورغ، وهو خبير في الإحصاء ومؤلف كتاب «عالم البيئة المتشكك» (l'Ecologiste sceptique). وقد باع لومبورغ، فيَ جميع أنحاء العالم، ملايين النسخ من كتاب ينكر فيه ببساطة وجود الأزمة البيئية الحالية. في الواقع، لكل بلد في العالم لومبورغ الوطني الخاص به، والذي لا يكون البتة عالم مناخ. ويُعزى، بشكل رئيسي، سبب حصول هؤلاء المؤلفين (عددهم إلى انخفاض حالياً) على جمهور واسع، إلى خلل وظيفي في وسائل الإعلام.

معجم

علم البيئة
علم يدرس علاقة الكائنات الحية مع محيطها وعلاقتها في ما بينها.

مشهد تمثيلي ساخر ينفذه متظاهرون من منظمات غير حكومية من أجل المناخ، يبين هيمنة الصراع الدائر بين حاجات هذا الكوكب والمجتمع الاستهلاكي في العقود المقبلة.

في الواقع، يرتاح العديد من الصحافيين، الذين لديهم اطلاع محدود في موضوع المناخ، أكثر إذا ما عرضوا وجهتي نظر متضاربتين؛ إذ يرون في ذلك وسيلة تبعد عنهم أي لوم أو عتاب بأن أنصار هذه النظرية أو تلك قد تلاعبوا بهم. وعلى الرغم من تراجع اهتمام وسائل الإعلام اليوم «بالمتشككين»، إلا أنهم ما زالوا يحصلون على اهتمام أكثر إيجابية من الذي يقدَّم إلى العلماء. بالتالي، كشفت دراسة أنه من بين ما يقارب ألف مقالة حديثة نشرت في مجلات علمية، ما من مقالة تناقش واقع ظاهرة الاحتباس الحراري الناتج عن أعمال الإنسان!

تقاعس لا يمكن الدفاع عنه

يتفق العلماء بالإجماع، فضلاً عن حتمية التغير المناخي نحو مزيد من الاحترار، على نقطتين مهمتين: الأولى هي أن العنصر البشري حاسم في التغير القادم، على الرغم من أن النسبة الدقيقة لإسهامه في هذا التأثير لا تزال موضع نقاش. والثانية أنهم اتفقوا أيضاً على أن الاحترار سيختلف في المستقبل تبعاً لانبعاثات غازات الدفيئة التي ننتجها، حيث إن الانبعاثات الإضافية ستُحدث تغييراً أسرع وأعظم ويستمر لفترة أطول. إذاً، أمامنا أدلة كافية للبدء بالعمل والتصرف، على الرغم من الشكوك التي لا يفكر أحد في أن ينكرها.

بدأت صورة مناخ الغد تتظهّر نتيجة تصميم النماذج. طبعاً، لا تزال الصورة ضبابية تتخللها مناطق رمادية، غير أن ملامح توجهات قوية أخذت تتوضح.

سيشهد العالم ارتفاعاً في درجات الحرارة، خصوصاً على اليابسة؛ والمزيد من هطول الأمطار الموزعة بشكل غير متساو؛ والعديد من الحوادث الشديدة مثل الجفاف والفيضانات وموجات البرد أو الحر، والعواصف. إضافة إلى ذلك، لا يمكننا استبعاد أنه بتجاوزنا حدوداً غير مرئية، قد نسبب تسارعاً مفاجئاً للعمليات المناخية النشطة حالياً، والتي سيكون من الصعب التكيف معها.

الجزء المرئي من تلوث الغلاف الجوي (هنا في الصورة لوس أنجلس) يبقى قليلاً في الجو، إذ إنه سيغسل مع أول هطول للمطر. في المقابل، فإن انبعاثات غازات الدفيئة، غير المرئية، تبقى لعقود بل لقرون عدة في الجو.

أي مناخ للغد؟

ارتفاع درجات الحرارة

لن يكون ارتفاع درجة حرارة العالم، بمدىً لا يزال غير مؤكد، منتظماً.
سوف يتغير تبعاً للموقع، والفصول، ولعوامل أخرى باتت معروفة جيداً
الآن.

تغير الحقبة المناخية

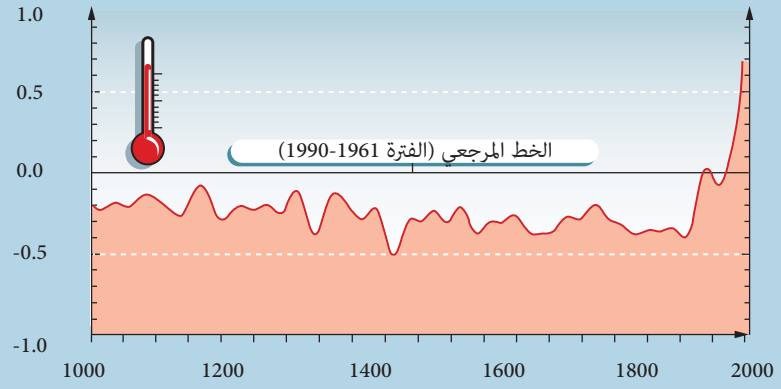
سيراوح ارتفاع درجات الحرارة العالمية الذي أعلنه تقرير اللجنة الدولية للتغيرات المناخية، في أفق عام 2100، ما بين 1.1 و 6.4 درجة مئوية (3 درجات مئوية هي الأكثر احتمالاً) مقارنة بتسعينيات القرن الماضي، علماً أن هذه الزيادة قد وصلت إلى 0.6 درجة مئوية خلال القرن العشرين. قد تبدو هذه الأرقام منخفضة للقارئ الذي لا يعلم كثيراً حول هذا الموضوع. ولكن للمقارنة، فلنتذكر أنه خلال العصر الجليدي الأخير، أي منذ نحو 18000 سنة، كان المناخ أكثر برودة بنسبة 5 درجات مئوية فقط مما هو عليه اليوم. ولكن، في تلك الحقبة، كانت الصفائح الجليدية تصل إلى بلجيكا، وكانت أوروبا مغطاة بسهوب باردة تبلغ البحر الأبيض المتوسط وتجتازها قطعان الرنة. إذاً، هو بالفعل تغير حقيقي للحقبة المناخية تعلنه أرقام اللجنة الدولية للتغيرات المناخية للقرن القادم.

تأثيرات متباينة

تتعلق هذه الأرقام بمتوسط درجة حرارة العالم الذي يسجل حالياً نحو 15 درجة مئوية. لكن لن يكون الارتفاع المعلن عنه موزعاً بالتساوي، وبالتالي سيتجلى بمظاهر محلية متنوعة ومختلفة. ستسخن اليابسة بشكل أسرع من المحيطات التي تتمتع بخمول حراري أعلى بكثير. إلا أن المحيطات ستسخن الغلاف الجوي ما إن ترتفع درجة حرارتها، حتى لو ندرت انبعاثات غازات الدفيئة في هذه الأثناء في الهواء! ستسخن خطوط العرض العالية أسرع من المناطق المدارية، وسترتفع درجة الحرارة في القطبين أكثر من سواهما من المناطق. كما أن ظاهرة الاحتباس الحراري الطبيعي ستنخفض في المناطق الباردة نظراً إلى قلة بخار الماء هناك. إذاً، إن لظاهرة الدفيئة التي يسببها الإنسان نتائج أكبر بكثير، لأن الإنسان يساهم في تسخين منطقة جغرافية قلما تكون معنية بهذه الظاهرة.

نلاحظ تراجعاً عالمياً وسريعاً للأنهار الجليدية ناجماً عن الاحترار على الرغم من بعض الاستثناءات، وهذا يعني ألاسكا (في الصورة) كما جبال الألب أو جبال الهيمالايا.

تطور درجة الحرارة في نصف الكرة الشمالي



متوسط درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي وقد أعيد تشكيله اعتباراً من عام 1000 من خلال معطيات مختلفة (حلقات جذوع الأشجار والكتل الجليدية والحوادث التاريخية)، ويغطي الفترة الممتدة بين 1000 و1980، والتي استكملت من خلال قياسات مباشرة للفترة 1902-1999. إن الزيادة السريعة منذ عام 1900 واضحة جداً.

احترار مرشح للبقاء طويلاً

يمكننا أن نتوقع زيادات من 3 إلى 5 درجات مئوية في أوروبا وأمريكا الشمالية، ومن 2 إلى 4 درجات مئوية في أمريكا الجنوبية وأفريقيا وآسيا وأستراليا. قد نشهد على مستويات مماثلة لدرجة حرارة صيف عام 2003 التي قتلت 30000 شخص في أوروبا، تتكرر كل 3 سنوات كمعدل من الآن حتى حلول عام 2070، وقد تبلغ حداً أقل من المتوسط في عام 2100. أما المناطق الشمالية من سيبيريا وكندا، فقد ترتفع الحرارة فيها إلى 10 درجات مئوية، وهذا ارتفاع جد هائل. تجدر الإشارة إلى أنه إذا كانت توقعات العلماء غالباً ما تنتهي في عام 2100، فالاحترار العالمي، نفسه، سوف يستمر (نذكّر بأن مدة حياة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تقارب قرنين من الزمان). يجب أن تراوح الزيادة في القرن الثاني والعشرين بين 50 و90 % مما هي عليه في القرن الحادي والعشرين.

سيناريوهات متعددة

قد نستغرب الفارق المناخي الكبير (من 1.4 إلى 5.8 درجات مئوية) الذي قدمته اللجنة الدولية للتغيرات المناخية. في الواقع، يكمن الشك بالنسبة إلى الكثيرين في الخيارات التي ستأخذها الإنسانية. ففي محاولة لاستكشاف النتائج المترتبة عن هذه الخيارات، بنى مصممو النماذج أربعين سيناريو، مقسمة الى أربع فئات رئيسية. وكانوا في كل سيناريو يغيرون سكان العالم، أو انتشار الغابات، أو عدد محطات الطاقة النووية، أو الجهود المبذولة للحد من الانبعاثات، أو النمو... إلخ. تستند السيناريوهات الأكثر ملاءمة إلى افتراض يقوم على اقتصاد ينتج نسبة كربون أقل وعدد سكان مضبوط، في حين أن السيناريوهات الأكثر كارثية تتخيل مجرد امتداد للاتجاهات الحالية...

المتساقطات

يزيد ارتفاع درجة الحرارة من ظاهرة التبخر، ويولد بذلك المزيد من المتساقطات مع تغيير توزعها، وربما تعزيز التباينات الحالية ...

مزيد من الأمطار ... في المدى المتوسط

يبدو أن توقع تطور هطول الأمطار أكثر صعوبة من توقع درجات الحرارة، لأن الاختلافات بين النماذج أقوى بكثير في ما يختص بالأمطار. وهذا أمر مؤسف، لأن مستوى هطول الأمطار يؤثر على نحو بالغ في المجتمعات البشرية، أكثر من تأثير درجات الحرارة: فكمية الأمطار تحدد الإنتاج الزراعي، وكمية مياه الشرب، ومستوى مخاطر مختلفة (كالفيضانات، وحرائق الغابات والتأكل وانجراف التربة...).

عموماً، يفترض بالدورة المائية أن تزداد بسبب ارتفاع درجات الحرارة الذي يسبب المزيد من التبخر... أي كمية إضافية من الأمطار، وليس المزيد من الحرارة والجفاف كما كان يُعتقد سابقاً. وتتوقع النماذج زيادة في هطول الأمطار بنسبة تقارب 3 % لكل درجة مئوية من الاحترار. لكن توزع الأمطار سيتطور في المكان وفي الزمان على حد سواء، ما سيدفع المجتمعات البشرية إلى التكيف مع هذا الوضع المكلف حتماً.

تعتمد الزراعة في جزء كبير من الولايات المتحدة (بما في ذلك المبين أعلاه في ولاية تكساس) على طبقة مياه جوفية أحفورية ضخمة، قد تجف في نهاية المطاف وتجعل أغنى بلد في العالم حساساً إزاء أي نقص محتمل في هطول الأمطار.

إن فيضانات شهر آب 2002 التي شهدتها أوروبا (هنا في ألمانيا)، والتي لا يمكن أن تعزى بشكل مؤكد إلى ظاهرة الاحتباس الحراري، تتوافق على أي حال مع توقعات علماء المناخ.

تفاقم التباينات

ستكون المتساقطات من الأمطار أكثر وفرة في المناطق التي تقع على خط عرض 60 درجة شمالاً (أي في أقصى شمال أوروبا والقارة الأمريكية)، كما أن سقوط الأمطار الصيفية على جنوب آسيا (الأمطار الموسمية) سيزداد أيضاً. في المقابل، سنشهد جفافاً واضحاً في فصل الصيف في منطقة البحر الأبيض المتوسط، بما في ذلك إسبانيا، والبرتغال، وإيطاليا، وجنوب فرنسا، ومنطقة البلقان. كذلك ستجف أستراليا، كما الجزء الداخلي من القارات الكبرى وجنوب أفريقيا، على الرغم من أن ذلك يخضع لقدر أكبر من الشك. لكن، إن صحت كل هذه الظواهر، على الرغم من التضارب الحاصل في التوقعات، فنحن متجهون نحو وضع سيفاقم إلى حد كبير التفاوت في هطول الأمطار على هذا الكوكب، ما يجعل المناطق الجافة أكثر جفافاً في حين أن المناطق المروية مسبقاً ستكسب المزيد من المياه ...

توزعات موسمية غير واضحة حتى الآن

على أي حال، يبدو أن معطيات التطور الأخير لهطول الأمطار تؤكد تماماً هذه التوجهات. فلقد شهد القرن العشرين انخفاض نسبة الأمطار في بلدان البحر الأبيض المتوسط والمناطق المدارية، في حين تلقت بلدان شمال أوروبا وأمريكا مزيداً من الأمطار... على الرغم من ذلك، فإن الصورة التي تظهر حالياً لا تزال غامضة الى حد ما، ذلك أن البيانات الخاصة بالتوزع السنوي لهطول الأمطار هي بيانات حديثة. لكن من المهم أن نعرف ما إذا كان نقص المطر قد حصل في الصيف، عندما تكون درجات الحرارة مرتفعة ويكون المطر العنصر الأهم بالنسبة إلى الغطاء النباتي، أو في فصل الشتاء حيث تكون بضعة مليمترات سنوياً غير كافية ولا نتيجة لها.

توازنات كبيرة مضطربة

هناك العديد من الأحداث المناخية التي تحدث على نطاق واسع وتنتج عن توازنات متغيرة بشكل أو بآخر. والأشهر من بينها هو النينيو، الذي يتسبب بشكل دوري بهطول كميات أمطار تفوق المعتاد في الإكوادور والبيرو، مترافقاً مع حالة من الجفاف في إندونيسيا وأستراليا. أما الرياح الموسمية الآسيوية، فهي تستجلب كميات هائلة من الأمطار كل عام في الوقت عينه، ولكن مع تفاوت في الكمية بين سنة وأخرى. يؤثر تقلب شمال الأطلسي، وهي حركة دورية لهواء المحيط، في شتاء أوروبا الشمالية الغربية. ويعتقد الباحثون أن ظاهرة الاحتباس الحراري قد تحرك هذه التوازنات، فتغير مثلاً تواتر هذه الظواهر أو حجمها؛ فظاهرة النينيو مثلاً تزداد أكثر فأكثر منذ عام 1970، ويتكرر حدوثها في مدة أقل..

نحو ظواهر مناخية أكثر حدة؟

يمكن أن تصبح الظواهر المناخية الأكثر حدة أكثر تواتراً في ظل جو أكثر اضطراباً عالمياً. لكن يبدو أن التوقع صعب في هذا المجال.

ابتعاد أكثر عن المعدل

يُعد تزايد عدد الظواهر المناخية الأكثر حدة، من النتائج المحتملة والمقلقة لظاهرة الاحتباس الحراري. إذا ارتفعت درجة الحرارة في منطقة ما بنسبة درجتين مئويتين، أو إذا زاد سقوط الأمطار فيها بنسبة 10 %، يزداد تلقائياً عدد موجات القيظ (الحر) أو الأمطار الغزيرة، مرهقةً بذلك البشر والنظم الإيكولوجية. لكن، وإضافة إلى ذلك، تشير جميع النماذج تقريباً إلى أن الأمر سيزداد سوءاً من خلال أكبر عدد من الانحرافات عن المعدل، أي من خلال هذه الحوادث القوية للغاية. في الواقع، قد يجعل الاحترار الغلاف الجوي أكثر اضطراباً، من خلال إدخال المزيد من الطاقة فيه، وفق آلية شبيهة بتلك التي تسرّع حركة سائل مسخن في قدر.

معجم

قياس هطول الأمطار: توزع الأمطار في المكان والزمان.

حالات جفاف وفيضانات

تتركز التغيرات الكبيرة في نسب هطول الأمطار تحديداً. في الواقع، سيسبب ارتفاع درجات الحرارة المزيد من العواصف والأمطار الغزيرة. فلقد احتسب نموذج أسترالي، من خلال افتراض مضاعفة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (المتوقع في نحو عام 2070)، أنه عند خط عرض 40 درجة شمالاً، سيتضاعف على أقل تقدير عدد أيام الأمطار الغزيرة (مع أكثر من 25 ملم) ، بينما سينخفض عدد الأيام الممطرة بأقل من 12.8 ملم. وسوف تُقسم، في أوروبا الوسطى، وتيرة عودة هطول الأمطار الغزيرة على 5 (بعبارة أخرى، إن الأمطار التي تحدث حالياً كل 50 عاماً في المتوسط، ستلاحظ كل 10 سنوات). ولقد تم الحصول على نتيجة مماثلة بناء على دراسة أخرى لمعظم أحواض الأنهار الكبرى في العالم!

وتشير دراسات أخرى إلى أن الانخفاض في نسبة الأمطار سيكون من خلال ازدياد عدد الأيام الخالية من المطر، وذلك في مناطق كثيرة مثل جنوب أوروبا، حيث سينخفض هطول الأمطار الصيفية بنسبة 20 %، الأمر الذي يجمع، إلى جانب الارتفاع في درجة الحرارة، كل المقومات لإحداث حالات جفاف شديد.

نحو عواصف أكثر قوة؟

تجهد النماذج لتمثيل العواصف المدارية، أي الأعاصير، إذ إنها تتشكل في مساحات أصغر بكثير من خلايا النماذج الحالية. من حيث المبدأ، تتناسب طاقة هذه الحوادث مباشرةً مع كمية المياه التي تبخرت، أي أنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة حرارة الهواء والمحيطات. ونحن نعلم، على وجه الخصوص، أن على حرارة مياه البحر أن تصل إلى 27 درجة مئوية

قبل أن يظهر أي إعصار. بالتالي، ستشهد المنطقة المناسبة لهذه الظاهرة توسعاً واضحاً، إلا أن تشكل الأعاصير يعتمد أيضاً على ظروف مناخية عامة لا يزال ترددها المقبل خارج التوقع. فالسنوات الخمسون الماضية، مثلاً، لا يبدو أنها شهدت زيادة في عدد الأعاصير، على الرغم من الارتفاع الملحوظ لدرجات الحرارة.

مع ذلك، يعتقد العلماء أنه من المفترض أن تزيد سرعة الرياح في ذروة الإعصار بنسبة 5 إلى 10 % في حال مضاعفة الكربون في الغلاف الجوي، وكثافة سقوط الأمطار بين 20 و30 %، ما يشير بالتالي إلى أضرار محتملة عالية جداً، ذلك لأن العلاقة بين الأضرار وسرعة الرياح ليست خطية بل لوغاريتمية. يتوقع أيضاً مزيد من العواصف المتكررة في خطوط العرض المتوسطة، خصوصاً على السواحل، كما يحدث في المحيط الأطلسي. وقد تستخدم، هنا أيضاً، الطاقة الكامنة الناتجة من زيادة التبخر كمحرك. فضلاً عن ذلك، سيزداد حتماً الفارق في درجة الحرارة بين محيط درجة حرارته مستقرة تقريباً ويابسة تعاني من ارتفاع سريع لدرجة الحرارة فيها... حيث إن هذه الفجوة الحرارية هي التي تسبب العواصف الممطرة.

من المتوقع أن تزداد الطاقة الهائلة المختزنة في الأعاصير المدارية (هنا في الصورة إعصار «ليندا» قبالة ولاية كاليفورنيا في عام 1997) كنتيجة لظاهرة الاحتباس الحراري.

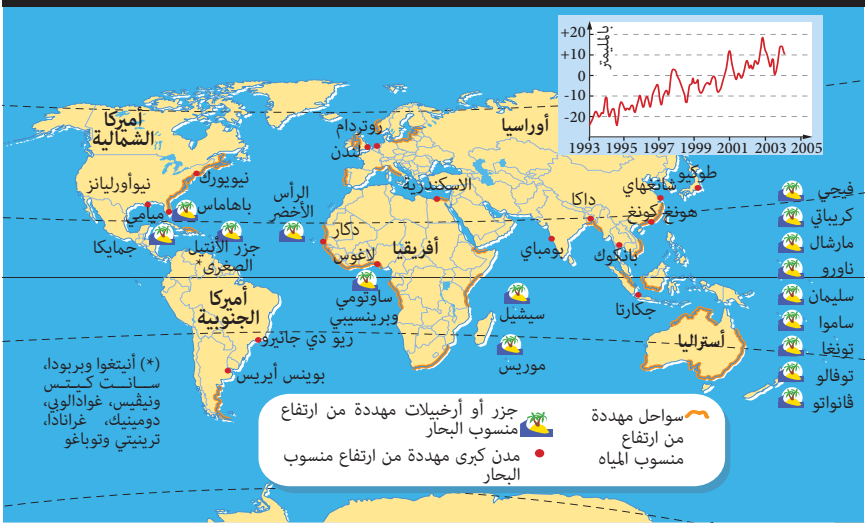
ارتفاع منسوب المياه

سيرتفع من دون شك مستوى مياه البحار بمقدار خمسين سنتيمتراً بحلول نهاية القرن... وقد يبلغ ارتفاعاً أكبر من ذلك بكثير إذا ما تفككت الكتل الجليدية القطبية.

جمود كبير في الكتل الجليدية والمحيطات

قبل 18000 سنة، كان مستوى محيطات العالم، عندما وصل العصر الجليدي الأخير إلى ذروته، 120 متراً تحت مستواه الحالي؛ فلم تكن إنجلترا، على سبيل المثال، جزيرة! في الواقع، هناك علاقة وثيقة بين درجة حرارة العالم ومستوى سطح البحر، ويرجع ذلك إلى ظاهرتين: الأولى هي أن الحرارة توسع نطاق المياه لكونها تتمدد، حيث إن هذا التأثير الحراري المباشر هو المسؤول عن جزء كبير من الزيادة الملحوظة حتى الآن (نحو 15 سم خلال القرن الماضي)، وهو مسؤول أيضاً عن الارتفاع الذي سيلاحَظ في العقود القادمة (زيادة بنحو 50 سم في أفق عام 2100).
أما الظاهرة الثانية فهي ذوبان الجليد، وبخاصة الصفائح الجليدية القارية، وهنا لا يجب الخلط بين الصفائح الجليدية والجليد البحري، الذي يتكون من شرائح جليدية عائمة لا تتجاوز سماكتها

ارتفاع مستوى البحار



قد يؤثر كثيراً ارتفاع مستوى المحيطات، الذي تم قياسه بواسطة القمر الصناعي (مقارنة بمتوسط 2004/1993)، في المدن الساحلية العديدة والمزدحمة بالسكان، وفي الجزر، وفي السواحل الضحلة (الدلتا) أو السواحل المعرضة للتآكل (الجروف، الشواطئ...).

تشكل جزيرة فونغافال، عاصمة أرخبيل توفالو (11000 نسمة)، واحدة من الأراضي التي ستختفي أولاً نتيجة الاحترار العالمي.

ثلاثة أمتار. لا يؤثر ذوبان هذه الشرائح في مستوى سطح البحر، إذ إنه مثل مكعب الثلج المغمور في كوب من الماء، لا يزيد من مستوى المياه وهو يذوب لأنه بحجمه الخاص يكون قد أزاح كمية من المياه تساويه وهو يعوم. وتجدر الإشارة إلى أن الجليد البحري في القطب الشمالي قد فقد في قرن واحد نسبة 15 % من مساحته و40 % من سماكته. في المقابل، يتكون الغطاء الجليدي القاري من الجليد المتراكم على اليابسة (غرينلاند والقارة القطبية الجنوبية بشكل أساسي)، بحيث تصل سماكته إلى عدة كيلومترات. هذا الغطاء يحبس إذاً كميات ضخمة من المياه قد ترفع، نظرياً، مستوى البحر إلى عشرات الأمتار إذا ما أفرج عنها. لكن يبدو أنه منذ خمس سنوات، وفي أماكن متفرقة، تنزلق كتلٌ ضخمة وعملاقة من الجليد وبسرعة متزايدة باتجاه البحر، وهي ظاهرة لا تزال غير مفهومة جيداً، إذ قد تكون تقلبات دورية طبيعية. ولكن إن ثبتت صحة هذه الوقائع، أو حتى إذا تسارعت كما يتوقع بعض العلماء، فقد يرتفع منسوب البحار إلى عدة أمتار خلال القرن الحادي والعشرين، ما قد يسبب أضراراً كارثية.

ماذا سيحصل على السواحل؟

حتى لو بلغ الارتفاع 50 سم فقط، فإنه لن يمر من دون عواقب. في الواقع، يعيش نحو نصف البشرية على ساحل بحر أو محيط. بالتالي، ستتضرر بشدة الدلتا المكتظة بالسكان مثل دلتا نهر الغانج في بنغلادش أو دلتا نهر النيل في مصر. فارتفاع منسوب المياه لن يطرد الملايين من سكان هذه الأراضي وحسب، بل سيخفض أيضاً الإنتاج الزراعي المحلي على نحو كبير، والأكثر من ذلك، ستتسرب المياه المالحة إلى المياه الجوفية متجاوزةً المنطقة التي غمرتها المياه.

الجزر العادية والجزر المرجانية

قد يتعرض العديد من الجزر الصغيرة في مختلف الأرخبيلات (جزر المالديف في المحيط الهندي أو مارشال في المحيط الهادئ) للخطر، بفعل ارتفاع مستوى سطح البحر حتى لو كان ارتفاعاً متواضعاً. في ما يتعلق بالجزر المرجانية، يعتقد العلماء أنها ستنجح بالتكيف من خلال نموها الخاص، مع ارتفاع منسوب المياه إذا كان لا يتجاوز 50 سم في القرن. ولكن يبدأ الشك عند تجاوز هذا المعدل.

أخيراً، فإن الأضرار الناتجة عن العواصف البحرية والفيضانات التي تنشأ عنها، قد تتفاقم بشكل كبير إذا ارتفع مستوى البحر، وذلك حتى لو افترضنا أن شدتها ستبقى كما هي عليه. لقد أظهرت دراسة حول ساحل هولندا أن المياه سوف تغمر الحواجز على الأرجح مرة واحدة كل 80 عاماً بدلاً من مرة واحدة كل 500 عام. وبينت دراسة أخرى، بتمويل من بلدية نيويورك، أن الفيضانات، التي تعتبر مئوية حالياً قد تعود في عام 2080 كل أربع سنوات، وذلك وفقاً للسيناريو الأكثر تشاؤماً! أما لناحية الأضرار على المستوى العالمي فيتوقع بأن تكون تكلفتها ضخمة جداً؛ إذ إن 16 مدينة من مدن العالم الكبرى العشرين تقع بمحاذاة البحر...

السيناريوهات الكارثية

يمكن للتغير التدريجي في المناخ، الذي أشارت إليه اللجنة الدولية للتغيرات المناخية للعقود القادمة، أن يتسارع بشكل كبير بسبب ظواهر عديدة ومختلفة لا يزال تقييمها ضعيفاً.

نحو جموح في الآلة المناخية؟

يجب أن تؤخذ سيناريوهات اللجنة الدولية للتغيرات المناخية كوصف للمستقبل من خلال معطيات الوضع الراهن، أكثر من كونها توقعات حقيقية. في الواقع، لقد سبق وبلغنا معدلات من تركيز ثاني أكسيد الكربون غير مسبوقة منذ ما لا يقل عن مليون سنة. ويجب عدم استبعاد المفاجآت والتقلبات لا سيما أن هناك عدداً من «السيناريوهات الكارثية» التي يمكن تصورها تماماً، على الرغم من أن معلوماتنا الحالية لا تسمح لنا أن ننسب لهذه السيناريوهات احتمالاً معيناً، إذ إن معظمها يستند إلى ظواهر ذات «ذات أثر مرتد إيجابي»، أي على عمليات تزداد هي بنفسها سوءاً، وبالتالي قادرة أن تولّد جموحاً مناخياً سريعاً وحاداً بشكل تصعب معه أي إمكانية للتكيف.

محيط مشبع

من الممكن كذلك، وبعد اجتياز حد معين، أن تتحول «آبار الكربون» الحالية – أي العمليات التي تسحب ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي – إلى باعثات للكربون، أو على الأقل، تتقلص فاعليتها إلى حد كبير. هذا هو حال المحيط، على وجه الخصوص، الذي يضطلع حالياً بإزالة 48 % من الانبعاثات التي ينتجها الإنسان.

في الواقع، يمكن أن تساعد ظاهرة الاحتباس الحراري في تقسيم المحيط إلى طبقات، أي تقلّص عملية «الخض»، أو المبادلة بين مياهه السطحية ومياهه العميقة، والتي تسمح بإبعاد ثاني أكسيد الكربون المذاب عن الغلاف الجوي، لذا فإن إعاقتها ستكون كارثية حتماً. ولا ننسى ما يشير إليه علم الفيزياء بأن المياه الأكثر دفئاً تحتوي على كمية أقل من الغاز المذاب، وهي قاعدة عامة تسري على غاز ثاني أكسيد الكربون ولا يمكن تجاهلها. تشير الدراسات إلى انخفاض امتصاص البحر لثاني أكسيد الكربون بنسبة 6 % على مدى السنوات العشرين الماضية، وتتوقع نماذج عديدة استمرار هذا الاتجاه. يمكن أيضاً تصور أن الأنظمة البيئية في المحيطات، بما في ذلك العوالق، لم تعد قادرة على امتصاص الكربون كما كانت تفعل من قبل.

معجم

نظام بيئي
نظام يتألف من وسط (مدى حيوي) وجميع الكائنات الحية المعتمدة عليه.

مشكلة الغابات

لا يخلو الأمر من تساؤلات مشابهة تتعلق بالأنظمة البيئية الأرضية. فالغابات أيضاً، تخزن

إذا كان أول فيلم خيالي هوليوودي (اليوم المقبل) المكرس لظاهرة الاحتباس الحراري قد بالغ في تصوير الأحداث، يبقى أن العلماء أنفسهم لا يستبعدون سيناريوهات كارثية في حالة الجموح المناخي.

الدورة الحرارية الملحية

يخضع العديد من الظواهر المناخية إلى ما يسمى «تأثير العتبة». وقد حُوّل أحدها إلى فيلم تحت عنوان «اليوم المقبل» لاقى رواجا شعبيا على الرغم من عدم دقته العلمية: إنها ظاهرة توقف تيار مياه المحيط العميقة (الدورة الحرارية الملحية) الذي يعيد توزيع المياه الجليدية الخاصة بالقطب الشمالي على الجنوب.

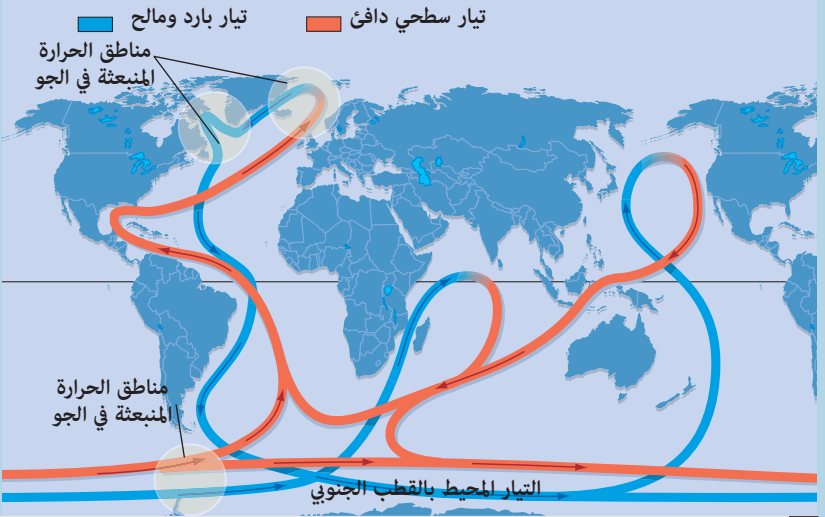
إن توقف هذا التيار، أو تباطؤه المفاجئ، قد يؤدي إلى انهيار درجات الحرارة في شمال غرب أوروبا، تليها اضطرابات مختلفة، مغيرا بذلك جميع التوقعات الإقليمية المتعلقة بالاحتباس الحراري.

إلا أن هذا التيار تغذيه ظاهرة تتعلق بشمال المحيط الأطلسي، ألا وهي غوص كميات ضخمة من المياه نحو الأعماق، منشئاً بذلك نوعاً من السحب المشابه لعمل المحرك.

ترجع هذه الحركة إلى الطابع البارد والمالح جدا لمياه هذه المنطقة، الذي يجعلها أكثر كثافة من المحيط المجاور لها. لكن مع استمرار ارتفاع درجة حرارة القطبين، سترتفع بلا شك درجة حرارة المياه، فضلا عن هطول كمية كبيرة من الأمطار على المنطقة التي ستعاني أيضا من ذوبان جزء من جليدها. وقد توقف هذه الظواهر ميكانيكيا عملية غوص المياه السطحية إلى الأعماق.

لكننا ما زلنا غير قادرين على القول بالضبط كم من الوقت سيستغرق الوصول إلى هذا الواقع، غير أن معظم الخبراء يعتقدون أنه من غير المرجح حصول ذلك قبل عام 2100... وهذا أيضا غير مؤكد.

التيارات البحرية الباردة والدافئة



يتصرف المحيط مثل مسخن عملاق، بحيث تنقل الدورة الحرارية الملحية الحرارة من المناطق الاستوائية إلى القطبين، فتنتقل المياه الساخنة إلى السطح، ثم تبرد في مناطق خطوط العرض العليا، ثم تغوص عميقاً نحو نقاط الالتقاء (القطب الشمالي والقطب الجنوبي)، ثم تتحول إلى تيار تحتي بارد يتبع المسار العكسي.

كل عام كميات كبيرة من الكربون، وهي تشهد فترة من الإنتاجية العالية منذ عقود عدة، ربما بسبب تزايد ثاني أكسيد الكربون الذي يتفاعل مع الغطاء النباتي وكأنه سماد غازي.
لكن قد يتوقف هذا النمو أو يضمحل إذا كان الجفاف في بعض المناطق يعيق الامتصاص النباتي، ويعزز احتمالات حدوث الحرائق. من المحتمل أن يتحقق هذا التغيير بحلول عام 2100 إذا لم يتخذ أي إجراء لخفض الانبعاثات.

خطر الكلاترات (Clathrates)

لقد حُددت أخطار أخرى عديدة ومختلفة، لكن الأكثر إثارة للقلق ينبع من هيدروكربونات غريبة، ألا وهي الكلاترات (أو هيدرات الميثان)، التي هي خليط من الميثان والماء تشكلت نتيجة درجات حرارة منخفضة وضغط مرتفع. إن الكلاترات مخزنة في التربة المتجمدة بشكل دائم (التربة الصقيعية) وفي رواسب المحيطات العميقة. تتوافر هذه الهيدرات بكمية هائلة جداً، فهي موجودة، على الصعيد العالمي، مرتين أكثر من الكربون المخزن في الوقود الأحفوري. فإذا ارتفعت درجة حرارة التربة الصقيعية مثلاً، يحرر ذوبان الكلاترات غاز الميثان، وهو غاز الدفيئة الأكثر فاعلية من ثاني أكسيد الكربون.
حالياً، لا أحد يستطيع أن يحدد عند أي حد من الاحتباس الحراري قد يبدأ ذوبان الكلاترات، ولا في أي حقول (الحقول القارية أم المحيطية؟) قد تبدأ العملية. ولكن من المؤكد أن ارتفاع درجة حرارة المحيطات والقارات يزيد من الخطر، كما أن الأرشيف الخاص بالرواسب يشير إلى أن هذه الظاهرة قد حدثت بالفعل في وقت مضى.

معجم

تأثير العتبة: قدرة بعض الأنظمة على تغيير حالتها جذرياً، وبصورة لا عودة فيها في معظم الأحيان، من خلال تغيير طفيف في الظروف الأولية.
تربة صقيعية (Permafrost): الجزء العميق من التربة الخاضع للصقيع (الجليد)، يحتوي على معادن، وهو متجمد بشكل دائم (مرادف: تربة متجمدة).

نظام غير مستقر من الخطر الإخلال به

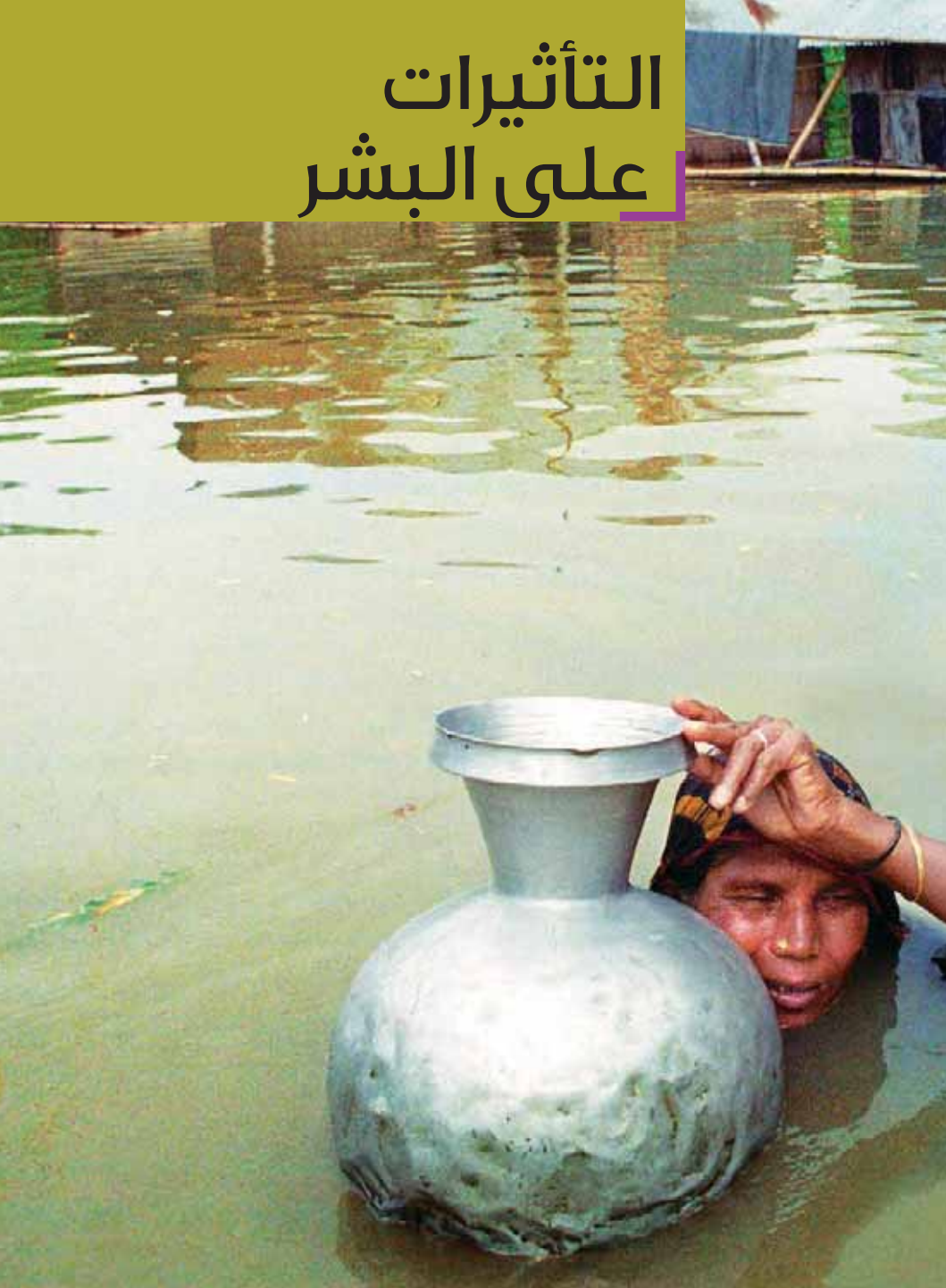
إذا كانت هذه الظواهر، التي سميناها ووصفناها للتو، يشوبها الشك وعدم اليقين، فإنه يجب علينا أن نتذكر أن المناخ نظام معقد وغير مستقر، يخضع للعديد من تأثيرات العتبة التي لا تزال غير متوقعة حتى الآن.
لكن على الرغم من ذلك، ومنذ نحو 10000 سنة، بقي المناخ ثابتاً بشكل ملحوظ، فكان هذا الأمر مفيداً للبشرية إلى حد كبير، إذ استعمرت الكوكب بأسره. لكن عندما ندخل عناصر مُخلّة، فنحن نكون أكثر عرضة لخطر التدهور المناخي – كما لو كنا على متن زورق غير مستقر، وقررنا أن نهز في كل الاتجاهات، ومن دون أن تكون لنا دراية في استعماله.

تعطينا فقاعات الهواء المحبوسة في هذه العينة من الجليد الجوفي فكرة عن تكوين الغلاف الجوي لعام 1819، عند تشكل هذا الجليد.

تتكيف مجتمعاتنا بشكل وثيق مع المناخ: فقد تم تطوير وتحسين العمارة، الزراعة، السلوك، شبكات النقل والطاقة للتعامل مع بيئة معينة. لكن إن حصل وتغيرت هذه البيئة، فعلى المجتمعات أن تجري تعديلات لا تعد ولا تحصى. إلا أن التكيف مع ظروف جديدة، خصوصاً غير المعروفة منها، هو عملية مكلفة تتخللها محاولات وتجارب لا تخلو من الفشل. وقد افترض علماء مناخ مشهورون، أنه بفضل هذه الفترة الاستثنائية من الاستقرار المناخي للسنوات الثمانية آلاف الماضية، استطاعت الحضارات الإنسانية أن تنشأ وتثبت. لكن كيف يمكن لهذه الحضارات أن تقاوم الظروف المتغيرة المحتملة في المستقبل؟

إن الشعوب الأكثر ضعفاً على كوكب الأرض - مثل هذه القروية في بنغلادش - هم الذين سيعانون أكثر من سواهم، من قسوة التغيرات المناخية التي يسببها نمط حياة البلدان الغنية.

التأثيرات على البشر



هل تتجه الأنظمة البيئية نحو الزوال؟

من الصعب علينا تفسير كيف أن موجة الانقراض الناجمة عن الاحترار العالمي، ستغير الخدمات التي تقدمها لنا البيئات الطبيعية.

طبيعة سخية جداً

غالباً ما نبخس من قيمة الخدمات التي تقدمها البيئات الطبيعية للمجتمعات البشرية، وذلك ببساطة لأنها خدمات مجانية. فالأنظمة البيئية في المحيطات توفر لنا كل عام نحو 80 مليون طن من الأسماك، وهناك مليارات من الكائنات الحية الدقيقة التي تعيد تدوير نفاياتنا العضوية وتحولها إلى مغذيات تهضمها النباتات، أما الغابات والمراعي فهي تحفظ التربة والمياه، وتحمينا بذلك من الفيضانات، وانهيارات الأرض والانجرافات، كما وأن الكائنات الحية تعيد تركيب العديد من الجزيئات اللازمة لصناعتنا. لكن، إذا انتكست الأنظمة البيئية وقلّ تنوع الكائنات الحية، ستضعف حتماً قدرة هذه الأنظمة على تأمين الخدمات لنا، وسيدفع البشر ثمن هذه الأعمال.

الأنظمة البيئية في حالة اضطراب

إن الأنظمة البيئية تخضع بالفعل لضغط كبير. يتوافق علماء الأحياء أننا دخلنا فترة انقراض الكائنات الحية، وهي تتسم بتواتر أعلى بمئة مرة على الأقل من المعدل الطبيعي. في هذه الحالة، يكون تأثير المناخ في الوقت الحاضر هامشيا، لكننا لم نواجه حتى الآن سوى جزء متواضع من الاحترار المتوقع. ومع ذلك، فإن آثار هذه الظاهرة أصبحت بالفعل كبيرة: ففي عام 2001، لم يكن بحوزة اللجنة الدولية للتغيرات المناخية، سوى 21 مقالاً يعالج التغيرات المناخية في الأنظمة البيئية. أما في أوائل عام 2005، فقد أحصى الخبراء أكثر من 1000!

انقراض أنواع وظهور أخرى

في الطبيعة، غالباً ما تتبع فترات الانقراض المتسارعة فترات ظهور أنواع جديدة، تستعيد خلالها الكائنات الحية تنوعها وتُكثر منه. بالطبع، إن الفترة التي نمر بها لن تكون على الأرجح استثناء لهذه القاعدة. فالمشكلة بالنسبة إلى الإنسان هي وتيرة هذه العمليات، إذ إن الانقراض ينذر بالحدوث في غضون بضعة عقود، في حين أن عملية ظهور أنواع جديدة، هي بأكملها عملية تمتد على الأقل لآلاف السنين. لكن ما يُطرح على المحك بالنسبة إلينا، هو مصير كل الأجيال المستقبلية!

أنواع توسع نطاق وجودها

لقد دخل عالم الأحياء بالفعل عصر الاضطرابات: فوفق دراسة نشرت في مجلة Nature (الطبيعة)، غيّر نحو 50 % من الكائنات توزعه أو إيقاع حياته البيولوجية،

تسهل ظاهرة الاحتباس الحراري النمو الواسع النطاق لطحالب Caulerpa taxifolia (مثلها مثل كائنات مدارية أخرى) في البحر الأبيض المتوسط.

خلال العقود الأخيرة. ويعود ذلك، في معظم الحالات، إلى ظاهرة الاحتباس الحراري. على سبيل المثال، يلاحظ اليوم العديد من الأنواع عند خطوط عرض أعلى من ذي قبل، على اليابسة وفي المحيطات. لذلك، يتأقلم حالياً العديد من الأنواع الاستوائية في البحر الأبيض المتوسط، ونذكر الأكثر شهرة من بينها الطحالب الغازية Caulerpa taxifolia، التي استوطنت مياه ستة بلدان، وهذا هو الحال أيضاً بالنسبة إلى بعض الأسماك والرخويات. وأظهرت دراسة أجريت على 39 نوعاً من الفراشات الأوروبية والأمريكية الشمالية، تقدماً إجمالياً نحو الشمال وذلك خلال 23 عاماً (ما يوازي 200 كلم بالنسبة إلى بعض الأنواع). والملفت أيضاً، أن 12 نوعاً من الطيور البريطانية، تقدمت شمالاً بمعدل 18.9 كم سنوياً، على مدى السنوات العشرين الماضية. نشير أيضاً إلى أن بعض النباتات في طريقها للاختفاء من جنوب أوروبا، وأن بعض الأنظمة البيئية الجبلية باتت توجد على ارتفاعات أعلى سواء في جبال الألب أو في آسيا (اليابان تحديداً). في الوقت عينه، تتكيف الأنواع من خلال تغيير إيقاع حياتها البيولوجية، حيث بات الإنبات والإزهار يسبق موعده بخمسة أيام، في المتوسط، على صعيد العالم. كذلك، باتت أنواع من الطيور المهاجرة تغادر الأمكنة التي تمكث فيها في فصل الشتاء، في وقت مبكر. هذه التغيرات تؤثر في جميع الكائنات الحية، بدءاً من الكائنات الأحادية الخلية إلى الثدييات، مروراً باللافقاريات أو النباتات.

العثور على مكان على الأرض

ليس من الممكن دائماً لكائن ما الهجرة وإيجاد ظروف حياتية تتلاءم مع تركيبته البيولوجية. في الواقع، لقد جزأ الإنسان، إلى حد كبير، المناطق الطبيعية، وأقام جميع أنواع الحواجز (المدن والطرق ومناطق الزراعة المكثفة ...).

فعلى سبيل المثال، قد يكون من المستحيل بالنسبة إلى أنواع الرخويات المهددة من الجفاف، أن تبلغ بيئة أكثر ملاءمة بعيدة عنها بعشرات الكيلومترات فقط. وقد لا يكون هناك أيضاً، بالنسبة إلى بعض الحيوانات، بيئات ملائمة في أي مكان على وجه الأرض. وهكذا، فإن ارتفاع درجة الحرارة بمعدل درجتين، يتسبب في اختفاء كامل لجليد القطب الشمالي في الصيف، ما يدمر نظاماً بيئياً كاملاً اتخذ يوماً ما الدب القطبي شعاراً له. كما ونعتقد أيضاً، أن من شأن هذا الارتفاع أن يتسبب في تراجع 97 % من مرجان العالم، لأنها كائنات حساسة للغاية من حيث الحرارة. وقد يمثل هذا الارتفاع أيضاً ضربة قاسية للأسماك المرتبطة حياتها بالمياه العذبة: فلن ينجو 50 % من السلمونيات الأميركية (أسماك السلمون العادي والمرقط...)، وربما يكون هذا الرقم نفسه في أوروبا.

إذاً، علينا أن نتذكر دائماً أن الأنظمة البيئية تحكمها توازنات دقيقة بين الأنواع. فمعظم الحشرات مثلاً تفقس في وقت يكون مصدر طعامها وفيراً جداً، سواء كان غبار الطلع، أو أوراق صغيرة أو فواكه... تالياً، قد تعاني من عواقب وخيمة إذا تم الإزهار قبل 15 يوماً من أوانه! والشيء عينه ينطبق على الطيور التي تربط عودتها من مهاجرها بوجود هذه الحشرات.

على طول السواحل

تغطي غابات المانغروف والأراضي الرطبة الساحلية الأخرى نحو مليون كيلومتر مربع في العالم اليوم. تتميز هذه المناطق بإنتاجية بيولوجية عالية جداً، كما تضطلع بدور رئيسي في تكاثر الكائنات البحرية، إذ إن أكثر من ثلثي الأسماك التي يستهلكها البشر يتردد إلى هذه المناطق في مرحلة ما من حياته. أما اليوم فتعاني هذه المناطق من ضغط وتدخل بشري كبير، كما يمكن لارتفاع مستوى سطح البحر الناجم عن ظاهرة الاحتباس الحراري، أن يتعدى قدرة كائنات هذه المناطق على التكيف نتيجة غرقها. هذا من شأنه أن يوثر كثيراً في النظام البيئي المحيطي.

معجم

مانغروف: تنمو غابات المانغروف البرمائية على شواطئ السواحل الطينية في المناطق الاستوائية.

انتهازي: يطلق خصوصاً على نوع من الكائنات يتكيف مع الظروف الآنية.

عتبات حرجة منخفضة نسبياً

هل هناك عتبة للاحترار تعرض للخطر قدرة الأنظمة البيئية على إطعامنا، والتخلص من نفاياتنا، وتخزين الكربون الذي ننتجه، وتصفية المياه التي نستهلكها... إلخ؟ كما رأينا سابقاً، إن درجتين إضافيتين تكفيان لتحقيق تغيرات كبيرة. وقد تسبب ثلاث درجات، من بين أمور أخرى، فقدان 60 % من الأنواع في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط، أو ما يقارب جميع الأنظمة البيئية الجبلية. لكن علينا ألا ننسى أيضاً مسألة الإيقاع: إن 50 % من الأنظمة البيئية، قادر على التكيف مع ارتفاع في الحرارة يبلغ 0.1 درجة مئوية في

إن إنشاء الحواجز التي لا يمكن للحيوانات والنباتات تجاوزها (مثل إنشاء البنى البنية التحتية لوسائل النقل)، يضعف الأنظمة البيئية، من خلال إعاقة مرور الأفراد والتبادلات الجينية، التي تسمح للأنواع بأن تصمد وتقاوم.

العقد الواحد، لكن 30 % فقط يقاوم ارتفاعاً في الحرارة يبلغ 0.3 درجة مئوية (أي 3 درجات إضافية في القرن الواحد). أخيراً، إذا بلغ ارتفاع الحرارة 0.4 درجة مئوية، فستتدهور سريعاً كل الأنظمة البيئية التي سيسيطر عليها عدد محدود من الأنواع العدوانية والانتهازية. لا شك في أن مثل هذا السيناريو سيؤدي إلى انبعاثات كبيرة من الكربون، إذ إن الأنظمة البيئية «الفقيرة» تحتوي عموماً على مواد عضوية أقل من الأنظمة المتنوعة جداً.

التغير المناخي والصحة

لن يعوض اعتدال فصول الشتاء ضرر الأمراض المعدية المنتشرة أكثر فأكثر، ولا موجات الحرارة ولا حتى الجفاف والعواصف والفيضانات ...

توقع صحي صعب للغاية

عرف الرومان منذ العصور القديمة أن قضاء فصل الصيف في الجبال أفضل لتجنب الحمى. فتأثير المناخ على الصحة ليس أمراً جديداً إذاً، على الرغم من أنه لم يتم اكتشاف الآثار الصحية الناجمة عن تغير المناخ إلا في السنوات القليلة الماضية. ولقد بدأت النتائج بالتراكم، حيث نشرت مؤخراً منظمة الصحة العالمية التابعة للأمم المتحدة تقريراً شاملاً عن هذه المشكلة. لكن من الصعوبة تقييم آليات العمل بدقة؛ ذلك أن الصحة العامة تعتمد أولاً اعتماداً وثيقاً على العوامل الاجتماعية. لذا، وعلى الرغم من تقارب المناخ بين ولاية فلوريدا وجزيرة هايتي، فإن السكان فيهما يعانون من أمراض مختلفة جداً. فضلاً عن ذلك، يرافق تغير المناخ تغيرات أخرى مثل إتلاف الغابات، وتغير الممارسات والأساليب الزراعية، والتوسع العمراني، وما إلى ذلك. لذا، فإن من الصعب عزل ما يتعلق بالمناخ نفسه، فغالباً ما تكون الخصائص البيولوجية للميكروبات ونواقلها معقدة جداً وقادرة على التطور.

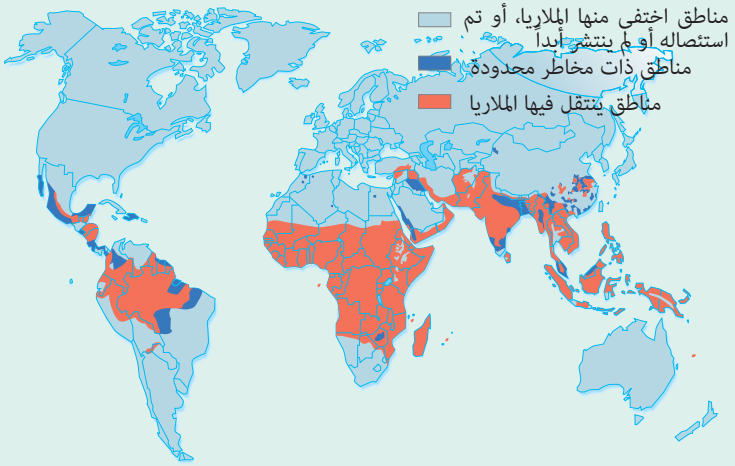
سيتطلب تغير المناخ التكيف مع ظواهر جديدة واستثنائية، كموجات الحر على سبيل المثال (هنا في فرنسا في آب/أغسطس 2003).

معدل الوفيات: انخفاض في الشتاء، وارتفاع في الصيف

لقد تم تحديد اتجاهات عدة تضطلع بدور في هذا الموضوع. فالآثار المباشرة لظاهرة الاحتباس الحراري هي الأسهل للفهم: إن موجات البرد القارس في المناطق المعتدلة أصبحت نادرة، الأمر الذي يسبب ربما انخفاضاً في معدل الوفيات في فصل الشتاء. في المقابل، تؤدي زيادة تواتر موجات الحر الشديد، وكذلك ارتفاع متوسط درجة الحرارة، إلى زيادة نسبة الوفيات .

على سبيل المثال، ستمثل موجة الحر الاستثنائية التي ضربت أوروبا في صيف عام 2003،

خطر الملاريا في جميع أنحاء العالم



يؤثر مرض الملاريا في مليار شخص ويقتل مليون شخص سنوياً، ويعتقد الخبراء أن منطقة الخطر ستتوسع بفعل ظاهرة الاحتباس الحراري.

والتي خلفت وراءها 30000 حالة وفاة، حدثاً قريباً جداً من المعدل في عام 2050. وقد تكون عواقب هذين الاتجاهين (المزيد من الموجات الحارة، والقليل من موجات البرد)، من حيث الوفيات، أكثر تعادلاً إلى حدٍّ ما في خطوط العرض الوسطى.

ارتفاع نسبة استهلاك المياه الملوثة

لن يكون لارتفاع نسبة الظواهر المتطرفة مناخياً، غير العواقب السلبية على صحة الإنسان. فالأمراض المتعلقة بالدورة المائية هي التي تقلق بالفعل علماء المناخ: في الواقع، إن استهلاك المياه الملوثة يميز فترات الجفاف والفيضانات وما بعد الأعاصير... العديد من الآفات قابلة بلا شك للزيادة. يعرض هذا الاستهلاك السكان

الأوزون والصحة

إن ظاهرة استنزاف طبقة الأوزون منفصلة تماماً عن ظاهرة الاحتباس الحراري. فهي عبارة عن تغير في الغلاف الجوي نتيجة الانبعاثات التي يصدرها البشر، ويرى المختصون أنها ستستمر لعدة عقود. إن الأوزون في الغلاف الجوي العلوي، الموجود حالياً بنسبة أقل بـ 30 % من مستوياته في ما قبل العصر الصناعي، يمتص الأشعة فوق البنفسجية الآتية من أشعة الشمس، وهي أشعة ثبت تأثيرها السرطاني. من المرجح أن هذا الوضع – وجنون قضاء العطل في الشمس – هو المسؤول عن جزء كبير من المليوني إصابة بسرطان الجلد المشخصة كل عام، ذلك فضلاً عن أمراض العيون: فمن بين 20 مليون حالة في العالم من حالات إعتام عدسة العين المسببة للعمى، قد يكون 20 % منها ناتجاً من زيادة الأشعة فوق البنفسجية، التي قد تسبب أيضاً ضعفاً في الجهاز المناعي.

تنتقل حمى الضنك بواسطة البعوض الذي نخشى انتشاره في المناطق المدارية (هنا، طفلان مصابان في مستشفى بانكوك).

للعديد من الأمراض المعدية، بما في ذلك الحمى النزفية على أنواعها المختلفة، والأمراض مثل الكوليرا والتيفوئيد والتلوث بالجراثيم أحادية الخلية (الشيجلا، الجيارديا... إلخ). من المعروف أيضاً، أن الفيضانات تعزز انتشار القوارض، وهي حيوانات تحمل عدداً كبيراً من الفيروسات، من بينها حمى الأرانب (tularemia) وداء اللولبية النحيفة (leptospirosis).

نواقل أكثر نشاطاً بفعل الحرارة

فضلاً عن ذلك، تشكل التغيرات في هطول الأمطار ودرجة الحرارة عاملاً حاسماً في تطور

أكبر ناقل للأمراض المعدية في العالم، ألا وهو البعوض. يرتبط نحو 200 نوع من البعوض بعدد قياسي من الأمراض ذات الأهمية العالمية. هذا هو حال الملاريا (الأنوفيلة الغامبية)، لكن هناك أيضاً حمى الضنك (بعوض الزاعجة المصرية)، الحمى الصفراء، فيروس غرب النيل وحمى الأخدود الأفريقي العظيم... إلخ. من المرجح أن يؤثر المناخ في هذه الأمراض، عن طريق تغيير بعض أماكن توالد الناقلات (مضاعفة المستنقعات أو تجفيفها)، وتعديل فترة نشاطها (عدد الأيام في السنة فوق 16 درجة مئوية)، أو أيضاً تغيير مقدار ضراوة الجراثيم نفسها المسببة للأمراض. إلا أن المعادلة تبدو أكثر تعقيداً مما هي عليه، إذ من الصعب أن نفهم لماذا يتمتع نوع معين من البعوض بأسبقية على نوع آخر في ظروف معينة، أو بالأحرى، ما هي بالضبط التفاعلات بين البعوض ومسبب المرض. الحال نفسه بالنسبة إلى القراد الذي يحمل العديد من الأمراض الخطرة، مثل مرض اللايم أو بعض التهابات الدماغ، والذي يرتبط أيضاً بشكل وثيق بالظروف المناخية.

الصحة والري

قد تؤدي زيادة الجفاف المعلن عنها في العديد من البلدان المدارية، إلى تطوير أجهزة ري مثل القنوات والسدود، وما إلى ذلك. إلا أن هذه التطورات قد تسبب هي أيضاً أمراضاً مختلفة متعلقة بالمياه، بما في ذلك البلهارسيا والملاريا. ويزيد الري، في كثير من الأحيان، الإصابات الناتجة عن الديدان، بحيث تبقى يرقاتها على قيد الحياة في التربة الرطبة.

يتوقع الخبراء بالإجمال تطور الأمراض الطفيلية مع ارتفاع درجة الحرارة وهطول الأمطار. فالعديد من النماذج المناخية يتوقع عودة ظهور الملاريا، التي يمكن أن تهدد نحو 200 مليون شخص، مع زيادة متواضعة في درجات الحرارة العالمية (1.3 درجة مئوية بحلول عام 2080). على الرغم من أن القياس الكمي الدقيق صعب، والمنطق الموضعي معقد، إلا أن هناك حاجة إلى رصد وبائي وثيق، خصوصاً أن حركة النقل الجوي تسبب انتشاراً لم يسبق له مثيل لأنواع من البعوض.

مشكلة إنصاف عالمية

لظاهرة الاحتباس الحراري عواقب صحية مختلفة، وذلك من خلال تأثيرها على الزراعة وعلى النمو السكاني عموماً. فقد تعرف المناطق الأكثر جفافاً مشاكل متزايدة في سوء التغذية، وقد يؤدي ارتفاع مستوى سطح البحر، إضافة إلى الجفاف الذي يهدد بعض المناطق على حد سواء، إلى نزوح السكان، الأمر الذي غالباً ما يسبب أزمات صحية خطرة.

لكن من المؤكد أن تغير المناخ سيطرح وبإلحاح متزايد، مسألة الإنصاف والمساواة بين سكان العالم. وكانت اللجنة الدولية للتغيرات المناخية قد حذرت في عام 2001 من «الآثار السلبية لتغير المناخ على الصحة، التي ستكون جلية تماماً، خصوصاً بين السكان ذوي الدخل المنخفض، لا سيما في البلدان المدارية وشبه المدارية».

وطالما لا يزال هناك 20 % من البشر يعيشون بأقل من دولار واحد يومياً، فمن البديهي أن لا يسير التصدي للأضرار الصحية الناجمة عن المناخ بالسهولة التي نتوقعها ...

معجم

ناقل: يشير إلى كائن حي ينقل عنصرا معديا. معظمها من اللافقاريات (البرغوث، والبعوض والقراد)، وقد تصادف بينها القوارض وبعض الطيور.

التغير المناخي والزراعة

على الزراعة العالمية أن تتكيف مع الظروف الجديدة، إلا أن هذا الأمر بحد ذاته تحدٍ صعب، خصوصاً بالنسبة إلى المناطق الفقيرة ...

استقرار مناخي على مدى ألفيات متعددة

قد يكون استقرار المناخ هو ما أدى إلى نشوء الزراعة، وتالياً ظهور كل الحضارات الإنسانية. لكن كيف لنا أن نعرف حقاً، إذا كان من غير الممكن توقع المناخ، أي نباتات نزرع وفي أي وقت، وما هي حيوانات المزرعة القادرة على البقاء على قيد الحياة، وأية عناية يجب أن نقدمها لها؟ لقد استندت جميع التقنيات الزراعية، التي تم تناقلها بين مئات الأجيال، منذ الري حتى المداورة بين المحاصيل، إلى وجود بيئة مستقرة. ورافق المكاسب الملحوظة في إنتاجية الثروة الحيوانية، والمحاصيل التي صاحبت التنمية البشرية خلال القرنين الماضيين، تكيف الزراعة مع البيئة أكثر من أي وقت مضى. من دون أدنى شك، ستكون الحاجة إلى التكيف مع الظروف الجديدة والمتغيرة، تحدياً كبيراً لقطاع الزراعة في المستقبل.

نتائج إيجابية أحياناً

إن الزراعة، التي يشكل الإنسان ركيزتها الأساس، هي واحدة من الأنشطة البشرية الأكثر تأثراً بتغير المناخ. غير أن هذا التأثر ليس كله سلبياً، إذ إن بعض المناطق قد تناسبها التغيرات الحاصلة. يقول فلاديمير بوتين في هذا الصدد، إنه «بالنسبة إلى بلد مثل روسيا، يمكن لاحترار عالمي بنسبة 2–3 درجات مئوية أن يكون مفيداً». في الواقع، يُجمع المختصون على الاعتقاد، بأن زيادة قدرها درجة مئوية واحدة، تعادل انتقالاً نحو الجنوب بنحو 180 كم. ولا شك في أن بعض المناطق الباردة والقاسية مثل سيبيريا أو كندا، أو حتى الدول الاسكندينافية، ستستفيد من المناخ اللطيف، فضلاً عن زيادة هطول الأمطار. لكن في الوقت الراهن، يؤدي ذوبان التربة الصقيعية، إلى انتشار الكثير من المستنقعات، بحيث نجهل كيفية تطورها. كما أنه ليس من المستبعد انتظار فترة طويلة حتى يستطيع الإنسان استخدام هذه المناطق.

الأشجار والمناخ

يمكن أن تكون زراعة الغابات (التحريج) حساسة جداً أمام تغير المناخ، بسبب الوقت الطويل الذي يفصل بين غرس الأشجار وجني ثمارها. هذا الفاصل الزمني الذي يدوم 40 عاماً لبعض الأنواع التي تشهد نمواً سريعاً، قد يصل إلى 150 عاماً في ما يتعلق بالأخشاب الصلبة ذات الجودة العالية.

قد يكون تغير المناخ خلال هذه الفواصل الزمنية كبيراً جداً. لكن حالياً، استفاد مراقبو الأحراج من ظاهرة الاحتباس الحراري، حيث سجلوا تسارعاً في نمو الأشجار يقارب نسبة 30 % خلال العقود القليلة الماضية.

لكن قد نشهد نتائج عكسية، أو بالأحرى خسائر هائلة في المحاصيل، خصوصاً في المناطق التي سيرتفع فيها الجفاف. حتى أن زراعة الأشجار المثمرة قد تتأثر، خصوصاً أن بعض الأنواع يحتاج لقضاء فترة شتاء باردة لإعطاء محصول جيد.

تغير أمكنة المناطق الزراعية

إن تأثير المناخ في المحاصيل الزراعية، الذي أعلن عنه المهندسون الزراعيون، هو أكثر تفاوتاً في المناطق المعتدلة. فارتفاع درجات الحرارة ليس بالأمر المهم في هذه المناطق، وكيفية تطور هطولِ الأمطار غير مؤكدة. فمن المحتمل أن يصبح داخل أوروبا وأمريكا الشمالية أكثر جفافاً، وقد تلاحظ نتائج هذا الواقع، كما كان الحالِ في عام 2003 (انظر في المربع). لكن إذا أصبح هذا النوع من المناخ الدافئ عادياً ومنتظماً، فمن المرجح أن يتكيف المزارعون وتتأثر المحاصيل بنسبة أقل. أما إذا انتقلت الأحزمة النباتية أكثر من 300 كم إلى الشمال، فهناك خطر من تغيرات جذرية: من يدري، فقد تصبح أفضل أنواع الشمبانيا في عام 2050، تلك التي تأتينا من إنجلترا وبلجيكا؟ والأخطر من ذلك، يمكننا أن نفترض أن الذرة، وهي نوع من الحبوب العطشى بطبيعتها، ستفسح المجال في العديد من الأماكن لمحاصيل أكثر اعتدالاً في استهلاك المياه، مثل القمح أو الشعير. بالنسبة إلى جنوب أوروبا، فهو يثير المزيد من المخاوف، فبحسب ما جاء في التقريرِ الثالث للجنة الدولية للتغيرات المناخية: «إن الموارد المائية ورطوبة التربة قد يقلان صيفاً في جنوب أوروبا، ما سيساعد على توسيع الفجوة بين شمال أوروبا وجنوبها في ما يتعلق بمسألة الجفاف... ».

إن الجفاف مضر بالحبوب على وجه الخصوص، حيث تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه، وتحديداً منها الذرة.

مخاطر غذائية متزايدة في الجنوب

مرة أخرى، يبدو أن البلدان المدارية وشبه المدارية، هي الأكثر عرضة للتهديد نتيجة تطور المناخ على كوكبنا. فالفيضانات والأعاصير والجفاف «قد تعرض للخطر الأمن الغذائي لكثير من المناطق القاحلة والمدارية والمعتدلة في آسيا»، بحسب ما تفيد اللجنة الدولية للتغيرات المناخية. وتشير هذه اللجنة أيضاً إلى أن «الزراعة ستتطور وتصبح أكثر إنتاجية في المناطق الشمالية». لكن آلاف الأميال، والكثير من الحدود، تفصل المناطق المأهولة بالسكان حيث تنخفض المحاصيل، عن المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة التي فضلها القدر ... وبحسب المعطيات الحالية، فقد تكون أفريقيا وأمريكا اللاتينية أولى ضحايا التغيرات القادمة. كذلك تعلن اللجنة عن انخفاضات كبيرة في محاصيل الحبوب الرئيسية (تراجع بنسبة 25 % للذرة و20 % للقمح بحلول عام 2070 في أفريقيا، وبنسبة 20 % للذرة و 30 % للقمح في أمريكا اللاتينية).

تُستعمل المياه التي يستخدمها البشر عموماً في أغراض الري (إلى اليسار). من الضروري تطوير نظم فعالة، مثل النضح (أعلاه) وتعميمها لمكافحة شح المياه.

تكيف مكلف للغاية

لكن، إذا كان اعتماد الزراعة على المناخ كبيراً جداً، إلا أنه ليس مطلقاً بحال من الأحوال. فالزراعة مثل أي نشاط بشري، تعتمد على العديد من الخيارات الاجتماعية المختلفة. وثمة تدابير متعددة تسمح بتخفيف آثار ظاهرة الاحتباس الحراري، كالري على سبيل المثال، واختيار أصناف نباتية أكثر قدرة على المقاومة، وسلالات حيوانية قوية، وتقنيات زراعية متطورة، ووضع أشجار توفر الظل، إلخ.

لا شك في أن أغنى بلدان العالم ستضع هذه الاستراتيجيات موضع التنفيذ. في المقابل، فإن أفقر المناطق في العالم تعاني بالفعل من الرعي المفرط واستنزاف التربة وتأكلها، بسبب الممارسات الزراعية غير الملائمة... ومن الواضح أنه، للصمود في وجه آثار الاحترار، قد تحتاج القارات الأسوأ مصيراً إلى مساعدات زراعية وعلمية، فضلاً عن استثمارات كبيرة. ويبقى السؤال ما إذا كان الغرب، وهو الذي يمتلك الخبرة ورأس المال، سيقدم هذه المساعدة أو سوف يتكيف مع الكارثة المقبلة.

عبرة عام 2003

تثير موجة الحر والجفاف التي ضربت أوروبا الوسطى والجنوبية في صيف عام 2003، اهتمام العلماء بشكل كبير. قد تكون هذه الظروف بالفعل المعيار الذي سيسود أوروبا خلال 50 عاماً. ووفق ما كانت تشير إليه النماذج، فقد تميز ذلك العام بانخفاض المحاصيل في الجنوب، وتحسنها في الشمال: فلقد انخفض حصاد الذرة والشمندر بنسبة 25 % في إيطاليا، في حين انخفض حصاد القمح بنسبة 30 % في البرتغال. في فرنسا، انخفض حصاد الذرة بنسبة 25 % وحصاد القمح بنسبة 10 %. في المقابل، ارتفع حصاد الشمندر بنسبة 25 % في إيرلندا، وبنسبة 5 % في السويد والدنمارك.

المنشآت البشرية

صُممت المباني السكنية، ومحطات الطاقة النووية، والجسور والسدود وجميع المباني، لتدوم عقوداً من الزمن، ولتتحمل بالتالي التغير المناخي.

أضرار مكلفة جداً

مما لا شك فيه أن شركات التأمين تُعتبر الفاعليات الاقتصادية الأكثر قلقاً حيال ظاهرة الاحتباس الحراري. إن هذه الشركات تحديداً هي التي أبدت ومنذ زمن طويل اهتمامها بهذه الظاهرة، بعد أن دق إعصار أندرو الذي ضرب الولايات المتحدة في عام 1992 ناقوس الخطر، بسبب الخسائر الفادحة المؤمن عليها التي نتجت عنه، والتي بلغت أكثر من 20 مليون دولار. إن تزايد هذا القلق يمكن فهمه جيداً؛ فكلفة ارتفاع الحرارة بمعدل 3 درجات، وارتفاع مستوى البحر بمعدل 50 سم، استناداً إلى ما تشير إليه التوقعات، قد تكون مرتفعة جداً، علماً بأن كلفة الأضرار المناخية الحالية تتخطى الألف مليار كل عام.

ذوبان جليد التربة الصقيعية

سبق أن لاحظت البلدان الأكثر برودة في العالم، أن التربة الصقيعية (التي تشغل حوالى ربع مساحة الأرض) بدأ جليدها يذوب بشكل مثير للقلق، في حين لا يزال العالم في مراحل مبكرة جداً من التغير المناخي. ويُعتقد أنه بحلول عام 2080، سيذوب ما نسبته بين 20 إلى 35 % من مساحة التربة الصقيعية.

وإذا كان ذلك جيداً بالنسبة إلى الزراعة، فهو ليس كذلك في ما يتعلق بالمنشآت الإنسانية. في الواقع، تتميز التربة الصقيعية بقساوة تضاهي قساوة الحجر، ومنذ 20 أو 30 عاماً لم يأت ببال أحد أنها قد تذوب يوماً. وسيؤدي الضعف الذي قد سيطال التربة الصقيعية، إلى إضعاف المباني والبنى التحتية، مثل الطرق والجسور وخطوط الكهرباء، إلخ. القائمة على أراض جليدية.

من المتوقع أيضاً أن تشهد الأرض تحركات، قد يهدد خطرها شبكات الأقنية المدفونة (لاسيما خطوط الأنابيب). إن 60 % من مساحة دول مثل روسيا (وكذلك كندا والدول الاسكندنافية) تغطيها التربة الصقيعية، وبالتالي ستضطر هذه الدول إلى القيام بأعمال تعزيز وتقوية مكلفة للغاية في المستقبل. إلا أن الأمور لا تتوقف عند هذا الحد؛ إذ كما يزيد ذوبان جليد التربة الصقيعية من تأكل السواحل والأنهار، ومن مخاطر الانهيارات الأرضية، يترك الاحترار تأثيراً كبيراً على المناطق الجبلية، وخصوصاً في جبال الألب، إذ يساهم بشكل خاص في زعزعة استقرار المنحدرات، ويزيد من الانهيارات الثلجية والأرضية والطينية. هنا أيضاً، تبدو الأضرار الحتمية التي قد تطال المنازل والبنية التحتية بشكل خاص (الطرق، سكك الحديد...)، مكلفة للغاية.

معجم

بنية تحتية: مجموع التجهيزات الاقتصادية والتقنية لبلد ما، وشبكات النقل، والطاقة، إلخ.

تآكل: مجموعة النشاطات الخارجية للعوامل الجوية، والمياه والأنهار الجليدية التي تؤدي إلى تدهور التضاريس.

من المرجح أن تلحق زيادة هطول الأمطار أضراراً مكلفة بالمنشآت البشرية (بسبب الانهيارات الأرضية على سبيل المثال، كما نرى في الصورة أعلاه من ولاية كاليفورنيا).

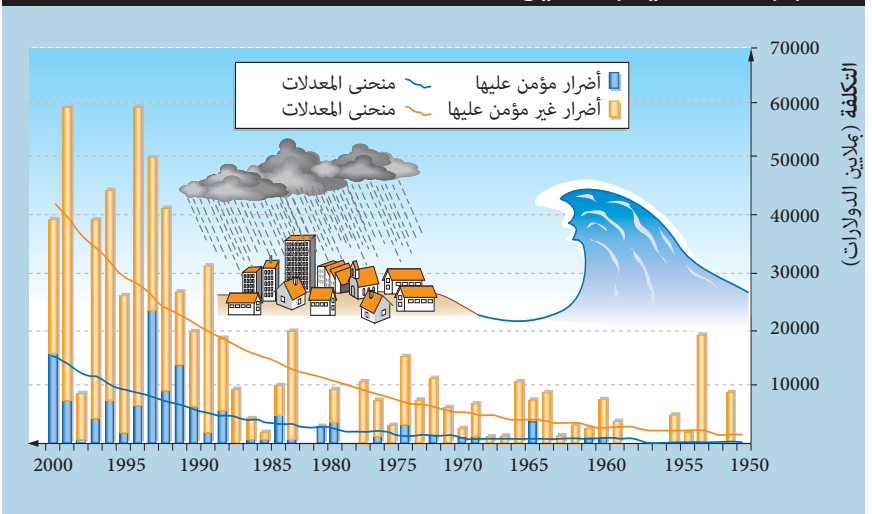
عمليات حسابية... ما عادت صالحة

ستشهد بقية مناطق العالم أيضاً تغيرات كبيرة في العقود القليلة القادمة. وسوف تطرح هذه التغيرات المتوقعة الناتجة عن الاحترار المناخي مشكلات تتعلق بتصميم العديد من المرافق والمنشآت. لنأخذ على سبيل المثال المواقع الحساسة مثل محطات الطاقة النووية، التي تقع عادةً على ضفاف الأنهار نظراً لحاجتها إلى التبريد. في الواقع، يجعلها موقعها هذا عرضة لخطر الفيضانات، الذي تم احتساب مستواه بشكل عام مع هامش أمان كبير، لكن من شأن الاحترار المناخي أن يقلّص هذا الهامش بشكل خطير، وذلك من خلال تغير الهيدرولوجيا عموماً. في السياق عينه، يراعي تصميم بعض المنشآت الهندسية، مثل الجسور أو المباني الشاهقة، الظروف المناخية السائدة، ويأخذ بعين الاعتبار الأحداث الاستثنائية كالعواصف والرياح، لكن يبدو الآن أن هذا الأمر يجب أن يخضع إلى إعادة نظر.

مولت بلدية بوسطن دراسة أظهرت هشاشة وضعها إزاء ارتفاع مستوى سطح البحر، ما يؤدي الى تفاقم آثار العواصف، واحتمال غمر هذه المنطقة الساحلية المكتظة بالسكان بالمياه.

إعادة النظر في الهندسة والعمران

عندما نريد إنشاء مبنى ليستمر مدة قرن على الأقل، يتعين علينا منذ الآن أن ننظر ونفكر في خياراتنا المعمارية، وذلك لتتناسب بشكل أفضل مع متطلبات المستقبل. وبالفعل، شرع المختصون بتنفيذ برامج بحوث في هذا المجال. فاهتم اليابان، على وجه الخصوص، بتأثير «الجزر الحرارية الحضرية» الناتجة عن المدن الكبيرة، ولا سيما أن خبراء هذا البلد يتوقعون ارتفاع درجة الحرارة بمعدلٍ يفوق 4 درجات مئوية. في الواقع، تمتص المدن من خلال المسطحات المزفتة خصوصاً، كميات هائلة من الإشعاع الشمسي، تجعلها أكثر دفئاً من المناطق الريفية المحيطة بها (ترتفع حرارة مدينة طوكيو 3 درجات مئوية بالمقارنة مع حرارة المناطق المجاورة لها)، لا سيما أثناء الليل. في هذا السياق، الذي ينطبق على عدد كبير من المدن الاستوائية، يبدو أن اعتماد ألوان فاتحة للمسطحات والأسقف الخضراء



تكاليف الكوارث الناتجة عن الطقس، وفقاً لإحصاءات شركة كبيرة لإعادة التأمين. يفسر الإثراء الواسع للمجتمعات بوضوح جزءاً من الارتفاع الملحوظ، لكن يمكن لتغير المناخ أن يؤدي بدوره دوراً معيناً.

(المغطاة بالتربة والنباتات)، وكثرة نوافير وقنوات المياه، قد يعطي نتائج جيدة إذا ما انتشر على نطاق واسع.

وينبغي على الدول الأوروبية، إذا كانت هي أيضاً عرضة لموجات الحر، أن تأخذ بعين الاعتبار زيادة نشاط الدورة المائية ومخاطر الفيضانات.

في الواقع، أوصت دراسة بريطانية نشرت في عام 2000، بتصميم المباني بشكل يتطابق مع سرعات رياح متزايدة بنسبة 5 إلى 10 %، ومع زيادة تدفق الأمطار. كما أوصت بتجنب مناطق الفيضانات والمناطق الساحلية، ونصحت باختيار مواد مناسبة لدرجة حرارة ونسبة هطول أمطار أكثر ارتفاعاً. تعد تغطية الأسطح بغطاء نباتي أيضاً مسألة حديثة؛ إذ إنها تتمتع بتأثير مضاد للفيضانات، وذلك من خلال الحد من جريان المياه السطحي، وتساهم في إزالة التلوث !

حالة بوسطن

قامت مجموعة من الباحثين، من عدة جامعات في الولايات المتحدة، بتقييم كلفة الضرر الناتج عن ارتفاع منسوب مياه البحر، الذي يرافقه هبوب العواصف الساحلية في بوسطن الكبرى (101 بلدة)، التي عادة ما تتعرض للفيضانات. تشير النتائج التي توصلوا إليها، والتي نشرت في عام 2003، إلى أن تكلفة الفيضانات ستصل في القرن المقبل إلى 10 مليارات دولار، وذلك من دون ارتفاع مستويات سطح البحر. ولكن في الواقع، ستراوح هذه التكلفة في مكان ما بين 25 مليار و98 مليار دولار، وفقاً لتدابير التكيف التي ستعتمدها المدينة (وضع قيود على البناء، تشييد تجهيزات للحماية، إلخ.). إلا أن الدراسة لم تأخذ بعين الاعتبار احتمال زيادة تواتر وشدة العواصف (وهو أمر ممكن، ولكن غير مثبت): فارتفاع المياه وحده يسبب تلقائياً هذه النتيجة.

بعض من الجيوسياسية

قد يؤدي الضغط الإضافي الناجم عن تغير المناخ ، في عالم غير مستقر، إلى هجرة غير منضبطة أو حتى إلى نزاعات مختلفة.

تفجر الصراعات

يفتقر عالم اليوم إلى المساواة والاستقرار الجيوسياسي بشكل كبير، ويخضع لمنافسة اقتصادية قاسية تمر بمرحلة من الشمولية والتصعيد، تشمل الدول فضلاً عن المؤسسات. لقد بات هذا الكوكب مقر الكثير من النزاعات المسلحة مختلفة الحدة، ومسرحاً يشهد هجرة غير مسبوقة في التاريخ. وفي هذا السياق، لا بد من أن تثير التغيرات المناخية توتراً إضافياً، يدفعنا إلى الشك في إمكانية إدارته بحكمة وإنصاف، بالنظر إلى الأحداث الراهنة.

المياه، مورد يزداد ندرة

لنأخذ على سبيل المثال قضية المياه، التي قال عنها بطرس غالي، الأمين العام السابق للأمم المتحدة، أنها ستكون سبب الحرب المقبلة في الشرق الأوسط. تعد المياه سلعة نادرة بسبب احتياجات الإنسان المتزايدة ومتطلبات الري، حيث يستهلك الإنسان اليوم حوالى 10 % من إجمالي تدفق الأنهار في العالم. إلا أن هذا الرقم يشير إلى المتوسط العالمي، وهو أعلى من ذلك بكثير في بعض البلدان، إذ يصل في الهند على سبيل المثال إلى 75 %، الأمر الذي يترك مجالاً ضئيلاً للنمو. اليوم، يعيش 1.4 مليار شخص بأقل من 1000 متر مكعب من المياه للشخص الواحد في السنة (استهلاك أسبوع واحد من المواطن الأوروبي)، ويتوزع هؤلاء بصورة أساسية في جنوب آسيا، وجنوب شرق آسيا، والشرق الأوسط وحول البحر الأبيض المتوسط. إلا أن الموارد ستشح من دون شك في هذه المناطق، وسيزداد في المقابل عدد السكان. ويقدر عدد السكان الذين سيعانون من تراجع الموارد المائية بصورة ملحوظة بما بين 700 مليون و2.4 مليار شخص. وتشير تقديرات حديثة إلى أن تدفق أنهار دجلة والفرات والسند وبراهمابوترا سينخفض بمعدل 22، 25، 27 و14 % على التوالي، في حين سيرتفع منسوب

قد تؤدي ظاهرة الاحتباس الحراري إلى تفاقم التوترات الاجتماعية التي تغذي الإرهاب، من خلال زيادة التفاوت على الصعيد العالمي، وفي ظل ندرة بعض الموارد. فهل نتوقع «11 سبتمبر» آخر؟

الأنهار الصينية الكبرى إلى حد كبير، وكذلك الأمر بالنسبة إلى مياه الأنهار السيبيرية. ولا يجب أن ننسى الأنهار العابرة للحدود (من نهر الأردن إلى نهر النيجر وصولاً إلى نهر الدانوب ونهر السند)، والتي يمكن أن يتفاقم الصراع حول طريقة استعمال مياهها... ولا بد من الإشارة إلى أن الزراعة الأمريكية تعتمد أيضاً، في جزء منها، على طبقات المياه الجوفية والمياه الأحفورية، التي بدأت تنضب.

يُخشى أن يرتفع عدد «لاجئي المناخ» أكثر فأكثر، لا سيما في ظل تصحر بعض المناطق (تنقل الصورة هذه الواقع عند الحدود بين الصومال وكينيا).

هجرات مناخية؟

ستشكل مسألة الاكتفاء الذاتي الغذائي أيضاً مصدراً لضغوط كبيرة. فقد تولد آثار الاحترار العالمي المجاعات الدورية في العديد من البلدان، أو على الأقل نقص تغذية مزمن، خصوصاً في المناطق التي توسع التصحر فيها حالياً. سيعاني المغرب العربي على سبيل المثال، بحسب بعض الدراسات، انخفاضاً في معدل هطول الأمطار يصل إلى 40 %، في حين سترتفع الحرارة فيه بمعدل قد يصل إلى درجتين مئويتين، ما سيزيد من الصعوبات التي تحيط بالزراعة. تبعاً لذلك، سترتفع أعداد اللاجئين، وهي أعداد ستضاف على الصعيد العالمي إلى أعداد النازحين بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر. ولقد قدّر رئيس اللجنة الدولية للتغيرات المناخية مؤخراً، أن عدد الأشخاص الذين سيهجرون مناطقهم نتيجة لعوامل مناخية سيصل في عام 2050 إلى 150 مليون شخص، إلا أن هذا الرقم يبقى من دون شك عرضةً لتغييرات كبيرة. ومن المعروف أن العصابات المسلحة تجد في المهاجرين صيداً ثميناً لناحية تجنيد اللصوص، وأن بؤسهم يؤدي إلى عواقب صحية وخيمة، وأن كلفة هجرتهم تثقل كاهل المجتمع بشكل كبير. بالإضافة إلى ذلك، يساهم توسع رقعة البؤس في دول الجنوب في زيادة تدفق الناس إلى الدول الأكثر غنى، تدفق تكثر فيه أعمال القمع والمضايقات الواسعة الانتشار والتي يصعب ضبطها. في الواقع، لن يبقى أحد بمنأى عن التغيرات المتوقعة، وبالتالي فإن معركة التخفيف من حدتها تعني سكان الكوكب أجمع.

يستمر انبعاث غازات الدفيئة البشرية في النمو، على الرغم من تعالي صرخات علماء المناخ. إلا أن توزع هذه الانبعاثات على مستوى كوكبنا متفاوت للغاية: فسكان الدول الغنية يلوثون عشرين مرة أكثر من سكان الدول الفقيرة. تنتج الانبعاثات عن مصادر متعددة: من طعامنا، من نظم التدفئة في منازلنا، من استهلاكنا للمنتجات المصنعة، من وسائل النقل التي نستعمل... وتنتج كذلك عن جشع الإنسان بالطاقة، كما عن المكانة التي يحتلها النفط في المجتمع.

يتطلب إنتاج الفولاذ الكثير من الطاقة، ويسبب بالتالي انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون.

من المسؤول عن ظاهرة الدفيئة ؟

الانبعاثات العالمية

يتراكم ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى في غلافنا الجوي كل عام جراء الأنشطة البشرية، وتشهد الأرقام في هذا السياق تزايداً مطرداً.

تمتص الطبيعة نصف الانبعاثات

يراوح مقدار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن نشاطات الإنسان بين 6 و7 مليار طن من مكافئ الكربون سنوياً (وغالباً ما تستخدم وحدة القياس هذه التي تستند إلى الاحتباس الحراري المتولد). ويرجع ذلك أساساً إلى احتراق الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي والفحم) وإلى صناعة الأسمنت. يسهل الحصول على هذا الرقم الدقيق، إذ تؤمنه الإحصاءات الصناعية المتقنة جداً والموثوقة. ولكن لا بد من إكماله بإحصاءات أخرى يصعب تقديرها.

الرقم الأساسي هو ذلك الذي يتعلق بانبعاثات الكربون الناتجة عن إزالة الغابات في المناطق المدارية، والتي تقدر بين 1 و 2 جيغا (مليار) طن سنوياً. تخزن الغابات كميات كبيرة من الكربون فوق سطح الأرض، وكذلك تحته. كما يؤدي قطع الأشجار واستبدالها بأراضٍ زراعية تتميز بمستوى ضئيل جداً مِن الكربون، إلى انبعاث كميات أكبر من هذا العنصر.

لا يولّد استثمار الأخشاب، إذا تمت زراعة الغابات في شكل دائم، أية انبعاثات؛ إذ تمتص الأشجار المزروعة الكربون المنبعث من احتراق تلك التي سبق وتم قطعها.

لحسن الحظ، لا يبقى الكربون المنبعث من هذه المصادر المختلفة في الغلاف الجوي، إذ يمتص المحيط حوالي 2 جيغا طن في السنة، في حين يمتص الغلاف الحيوي المحيط بالأرض – في المناطق المعتدلة – بين 1.6 و 4.8 جيغا طن (علماً أن الأرقام هذه لا تزال موضع جدل). وفي المجموع، يعادل الميزان المناخي الصافي (الكمية المنبعثة ناقص الكمية التي تم امتصاصها) زيادة بنحو 3.2 جيغا طن سنوياً.

الهدف: 500 كيلو غرام من مكافئ الكربون لكل شخص

لا بد من الإشارة إلى أننا وصلنا إلى مستويات من تركز انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، لم يسبق أن شهدها العالم منذ مليون سنة. لتجنب زعزعة استقرار مناخنا بشكل كامل (هذا إن لم يكن الأوان قد فات بعد)، لا بد من وضع حد لهذه الزيادة في أسرع وقت ممكن. وبالتالي يفرض المنطق أن نخفض من هذه الانبعاثات بنسبة 3.2 جيغا طن سنوياً، كي

لا تتخطى الكميات المنبعثة قدرة الطبيعة على الامتصاص. ولوضع أرقام يسهل حفظها، يحق لكل فرد، بما في ذلك الأطفال، أن يصدر ما يقارب 500 كلغ من مكافئ الكربون سنوياً، وذلك في منطقة يبلغ تعدادها السكاني ستة مليارات نسمة، يملك كل منهم حقاً متساوياً بالتلويث. يعتبر هذا الرقم معياراً عملياً، من شأنه أن يتيح للقارئ فرصة تقدير الكميات المذكورة في الصفحات التالية.

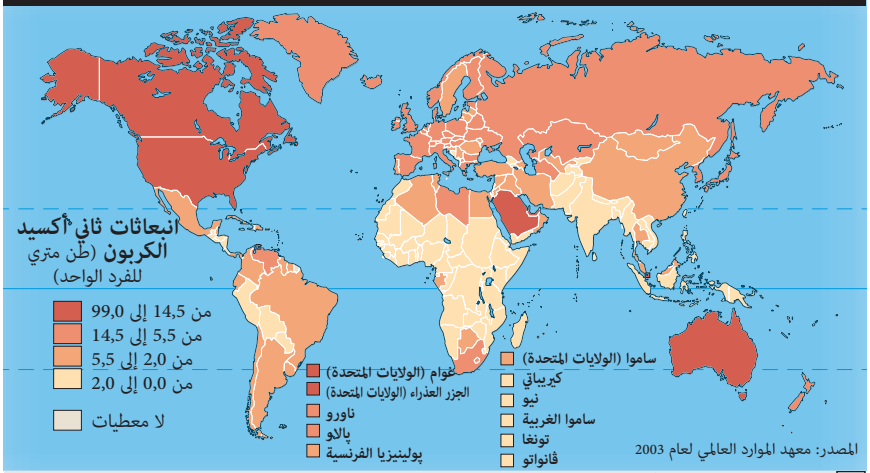
معجم

مكافئ الكربون: وحدة تستخدم لقياس تأثير «الاحترار» المقارن بمختلف غازات الدفيئة، مع الأخذ بعين الاعتبار طول عمرها وخصائصها البصرية.

فجوات تراوح بين 1 و 70

يتعيّن علينا إذاً إجراء مقارنة لبعض الكميات وترتيبها لتساعدنا على تقدير الأمر: يصدر المواطن الأمريكي أو الأسترالي اليوم حوالي 7 طن من مكافئ الكربون سنوياً (يصدر سكان الولايات المتحدة وحدهم حوالي 22 % من انبعاثات غازات الدفيئة وحوالي 40 % من ثاني أكسيد الكربون الموجود حالياً في الغلاف الجوي)، في حين يصدر المواطن البولندي أو الإنجليزي 3 طن، ويصدر الفرنسي طنين والمكسيكي طناً واحداً تقريباً (أي المتوسط العالمي تقريباً)، والصيني 0.7 طن، والهندي 0.3 طن فقط، بينما لا يصدر معظم الدول الأفريقية إلا 0.1 طن. يمكننا أن نلاحظ على الفور، أنه انطلاقاً من مبدأ المساواة، لن تكون التضحيات هي نفسها بالنسبة إلى الجميع. علاوة على ذلك، يؤدي اعتماد جميع سكان الأرض البالغ عددهم 6 مليارات نمط الحياة الأمريكي، إلى زيادة الانبعاثات بنسبة ستة أضعاف، في حين أننا نهدف إلى تخفيضها إلى النصف.

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في كل دولة



تتوزع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد الواحد في مختلف أنحاء العالم بشكل غير متساو. تستأثر الدول المتقدمة بحصة الأسد، ويتعين عليها بالتالي أن تبذل مجهوداً أكبر.

خلفت حرية التنقل وسهولته اللذان وفرهما محرك الاحتراق إدماناً حقيقياً على اقتناء السيارات، إدمان يدفع المناخ كلفته المرتفعة.

إسهام بما لا يقل عن 25 % من غاز ثاني أكسيد الكربون

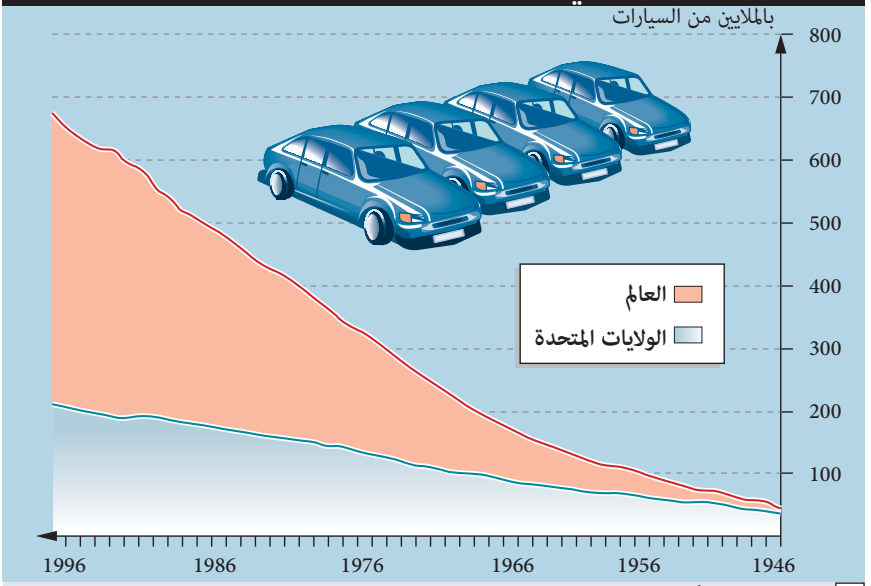
يعد تطور وسائل النقل غير العادي، الذي شهده القرن الماضي، سمة رئيسية من سمات عالمنا. ولقد أشار المؤرخ الأمريكي جي آر ماكنيل إلى السيارة بوصفها الاختراع الذي ترك أخطر العواقب الاجتماعية والبيئية في القرن العشرين. وتشير الإحصاءات الصادرة عن وكالة الطاقة الدولية إلى أن وسائل النقل تستهلك 20 % من الطاقة العالمية، وتصدر 24 % من مجموع ثاني أكسيد الكربون الذي تصدره البشرية.

في الولايات المتحدة، تم تنفيذ كل مشاريع إشغال الأراضي على أساس نفط رخيص الثمن. إن الخروج من هذا المنطق سيكون أكثر إيلاماً.

لكن هذه الإحصاءات تقلل في الواقع من مكانة السيارات في عالمنا، إذ لا بد من أن نأخذ أيضاً بعين الاعتبار تكلفة الطاقة المترتبة على بناء وصيانة الشبكات الضخمة للطرق والأوتوسترادات التي تتطلبها السيارات، والآخذة في التوسع أكثر فأكثر، لا سيما في البلدان الأقل نمواً.

في نهاية القرن العشرين، تجاوزت شبكة الطرقات في الولايات المتحدة 5،5 مليون كم (علماً أن شبكة السكك الحديد هي أقل من ذلك بعشر مرات)، في حين أن المساحة المخصصة للسيارة (بما في ذلك الطرق والمواقف)، تراوح نسبتها بين 5 و10 % من إجمالي مساحة الأراضي في أوروبا واليابان والولايات المتحدة. ولا بد أيضاً من احتساب استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون الناتجة عن صناعة السيارات. وقد كشفت دراسة ألمانية تعود إلى التسعينيات، أن إنتاج سيارة يبلغ وزنها طناً واحداً، يولد 29 طناً من النفايات؛ بمعنى أن تصنيع سيارة يلوث الهواء بالمقدار عينه الذي تلوثه قيادتها لمدة 10 سنوات!

عدد السيارات العالمي



في خلال 50 عاماً، ارتفع عدد السيارات كثيراً ليصل إلى حوالي مليار سيارة تعمل على المحرك، بعد أن كان عدداً بسيطاً جداً بالكاد يذكر. هذا وقد سُجِّل تقدم ضئيل في ما يتعلق بانبعاثات السيارات على الرغم من التقدم التكنولوجي، ذلك أن قوتها قد ازدادت في شكل ملحوظ.

دائماً المزيد من المركبات

يستمر إنتاج السيارات حالياً في النمو بشكل مذهل، وتبلغ نسبة الزيادة هذه 2.5 % سنوياً في الولايات المتحدة (التي تضم أكبر عدد في العالم) منذ عام 1970، وتتخطى هذا الرقم بكثير مناطق أخرى من العالم. يمكن هذا التوسع أن يستمر، إذ ثمة سيارة واحدة عاملة لكل 1.5 شخص في الولايات المتحدة، أما في الصين والهند فهناك سيارة واحدة لكل 100 شخص.

نتيجة لهذا النمو تستمر الانبعاثات في الازدياد بمعدل مثير للقلق؛ فمنذ عام 1990 تمكن الاتحاد الأوروبي من التحكم في انبعاثاته، باستثناء انبعاثات قطاع النقل التي ارتفعت بمعدل 18 %. ولا يبدو دور الظهور الاجتماعي الذي تؤديه السيارة غريباً عن هذا الاتجاه. يشير بعض الحسابات إلى أن السيارة تصدر كمعدل وسطي 60 غراماً من مكافئ الكربون لكل راكب في الكيلومتر الواحد، ويرتفع هذا الرقم في المدينة ليصل إلى 100 غرام. وإذا ما أخذنا الحالة الأخيرة بعين الاعتبار، فإن قيادة السيارة مسافة 15 ألف كلم كل عام تولد 1.5 طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون... (أي ثلاث مرات أكثر من 500 كلغ للشخص الواحد،

وهو المعدل الذي نطمح إليه). أما حين نعلم أن الشاحنة تستهلك وقوداً أكثر من السيارة الكبيرة، فسنلاحظ عندئذ الضرر الحالي الذي يتركه نقل البضائع براً علىً الخارطة المناخية. وهكذا فإن التدابير الرامية إلى تحرير التجارة الدولية تساهم بطبيعة الحال في تطوير هذا الاتجاه.

القطار والحافلات، وسائل نقل أكثر اقتصاداً

يصدر النقل بالسكك الحديدية في مختلف الحالات انبعاثات أقل بكثير من تلك التي تصدرها السيارات. مع ذلك، ولإصدار حكم دقيق على الآثار المناخية التي يخلفها القطار، من المهم أن نعرف مصدر الكهرباء المستعمل لتحريكه، إذ تختلف كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة وفقاً للطريقة التي تُنتج بها الكهرباء. وبالتالي تولد القطارات في فرنسا (البلد الذي يضم طاقة نووية مهمة جدا) حوالي 3 غرامات من مكافئ الكربون لكل راكب في الكيلومتر الواحد، في حين يتخطى هذا الرقم 20 غراماً في المملكة المتحدة حيث تُستعمل طاقة مستمدة أساساً من مصدر أحفوري.
ويقع معظم الأرقام التي تسجلها الدول الأوروبية الأخرى بين هذين المعدلين، تبعاً لعدد محطاتها النووية وأهميتها، وحداثة محطاتها الحرارية، وعدد السدود لديها، إلخ. أما الحافلة فتتخطى القطار مع معدل يقارب 25 غراماً، وبذلك تحافظ على مستويات معقولة نسبياً.

الطيران، الوسيلة الأكثر تلويثاً

تعد الطائرة وسيلة النقل التي تشهد حالياً أسرع نسبة نمو، في حين تبدو إلى حد ما أكثر الوسائل إصداراً للانبعاثات. في الواقع، تصدر الطائرة كميات من ثاني أكسيد الكربون لكل راكب في الكيلومتر الواحد تفوق الكميات التي تصدرها سيارة كبيرة. إلا أنها تصدر وفي الطبقات العالية من الغلاف الجوي أنواعاً أخرى من الغازات لا سيما أكسيد النيتروجين. وتؤدي هذه الغازات إلى تشكل كثير من الأوزون (وهو أحد أنواع غازات الدفيئة)، لذلك يزيد وجودها من خطر تأثير ثاني أكسيد الكربون بنسبة 60 %. وبالإضافة إلى ذلك، تصدر الطائرات سحباً على شكل خطوط بيضاء

ينتشر الإدمان على السفر بشكل كبير في البلدان الغنية، ما يزيد من ازدهار النقل الجوي، والاضطراب المناخي الذي يسببه.

سر الطخرور (السحاب الرقيق)

يتهم العلماء منذ سنوات عديدة الطائرات بتوليد غيوم على ارتفاعات شاهقة (الطخرور)، تتكون من بلورات الثلج، وتعد على الأرجح مسؤولة عن ظاهرة الاحتباس الحراري الخطيرة. إلا أن ديناميات الغلاف الجوي العلوي حيث تحلق الطائرات وحيث يتشكل الطخرور، لا تزال غير مفهومة بوضوح، وبالتالي تبقى المسألة مفتوحة للنقاش. قد يصل تأثير الطخرور حتى مضاعفة التأثيرات المناخية الناجمة عن الطيران، وقد يؤدي إلى عواقب مقلقة جداً.

قد يؤثر الطخرور الناتج عن تحليق الطائرات على ارتفاعات شاهقة بشكل كبير على المناخ.

طويلة ورفيعة وأثرها في زيادة نسبة الاحتباس مؤكد، لأن هذا النوع من السحب المرتفعة يحجز بفعالية الأشعة ما دون الحمراء المنعكسة، في الوقت الذي يسمح لكميات كبيرة من الإشعاع الشمسي بالوصول إلى سطح الأرض، فيضاعف كل ذلك من تأثير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون فقط. لقد عرف الطيران، منذ عام 1970، نمواً بلغ معدله 4.5 % سنوياً، وهو إيقاع أسرع حتى من إيقاع نمو السيارة، وذلك على الرغم من المشاكل النفطية. وبالكاد أبطأت هجمات 11 أيلول/سبتمبر 2001 سرعة هذا النمو، إذ عوضت معدلات النمو التي كانت ضمن خانة الرقمين في عام 2004 هذا التباطؤ العرضي. وتتوقع الشركات كافة نمواً يزيد على 5 % سنوياً لقطاعي نقل الركاب والبضائع... الأمر الذي يزيد استناداً إلى وجهة نظر حسابية هذه الانبعاثات بنسبة ثلاثة أضعاف بحلول العام 2050، أو حتى أكثر من ذلك إن لم نشهد تقدماً تقنياً.

وقود غير خاضع للضرائب

لا بد من الإشارة هنا إلى أن الطيران الدولي معفى تماماً من الضرائب المفروضة على الوقود، بموجب اتفاق تم توقيعه في عام 1944 في شيكاغو، والذي سعى حينذاك إلى تنظيم الطيران المدني بعد الحرب وتطويره. نتيجةً لذلك، بات الطيران المدني الدولي يستفيد اليوم من دعم كبير؛ إذ يشتري ليتر الوقود بسعر أقل بأربع أو خمس مرات من السعر المتاح للأفراد في أوروبا الغربية. علاوةً على ذلك، تمكن الطيران المدني من التفلت تماماً من القيود التي يفرضها بروتوكول كيوتو، على أساس أنه كان من الصعب جداً تحديد الجهة المسببة للانبعاثات (البلد الذي تنتمي إليه شركة الطيران أو بلد الركاب المسافرين) . لذلك، لا يمكن إلا أن نلاحظ بكل أسف أن وسيلة النقل الأقل إصداراً للانبعاثات، أي القطار، هي الوسيلة التي تشهد أقل معدلات نمو، تماماً كالباخرة، في حين أن وسائل النقل التي تصدر كميات كبيرة من الانبعاثات كالسيارة (لاسيما الرباعية الدفع التي باتت أكثر رواجاً) والطائرة، تشهد تطوراً مطرداً.

الانبعاثات المتعلقة بنظامنا الغذائي

أدت التحولات التي طرأت على أسلوب حياتنا إلى ازدهار الزراعة الإنتاجية والصناعات الغذائية اللتين تصدران كميات كبيرة من غازات الدفيئة.

زراعة منتِجة... وملوِّثة

حققت الزراعة في خلال القرن العشرين قفزة غير عادية على صعيد الإنتاجية، إذ نجحت في إطعام سكان العالم الذين تضاعف عددهم أربع مرات في خلال قرن من الزمن (علماً أن أسباب المجاعات التي شهدها العالم في خلال هذه الفترة كانت سياسية)، في حين أن مساحة الأراضي الزراعية لم ترتفع إلا بمقدارين. إلا أن هذا النجاح تم على حساب تحولات هامة أدت إلى عدد من النتائج السلبية. وأهم هذه التحولات على الإطلاق تتجلى في أن الزراعة قد أصبحت نشاطاً يعتمد في شكل وثيق على الوقود الأحفوري. من وجهة نظر معينة، بات الإنسان يأكل اليوم نفطاً محولاً! يعزى السبب في ذلك في المقام الأول إلى مكننة القطاع، الذي أدى بدوره إلى انخفاض كبير في عدد المزارعين، حيث لا يمثل هؤلاء في معظم البلدان المتقدمة، بما في ذلك الدول المصدرة، إلا 5 % من السكان؛ تشير الحسابات إلى أن مزارعاً أمريكياً يطعم اليوم أكثر من 70 شخصاً. ويترجم هذا الأمر باعتماد الآلات في كل مجال (جرارات، حصادات، حلابات...) وباستهلاك متزايد للوقود. ازداد عدد الجرارات الزراعية في العالم من 300000 في العام 1920 إلى عشرة ملايين في العام 1960، ليصل في أواخر القرن العشرين إلى ما يقارب 30 مليون جرار ذات قوة متنامية، ما يساهم أيضاً في ازدياد الانبعاثات.

ماذا عن الزراعة العضوية؟

مما لا شك فيه أن الزراعة العضوية لا تخلو من الانبعاثات، فهي زراعة ممكننة وتتطلب أسمدة طبيعية تولد أول أكسيد النيتروجين فيما يولد سماد الماشية العضوي غاز الميثان. إلا أن هذا النوع من الزراعة لا يتطلب مبيدات حشرية أو أسمدة صناعية، وبالتالي تصدر كميات أقل من مكافئ الكربون من تلك التي تصدرها الزراعة غير العضوية بنسبة 30 %. بالإضافة إلى ذلك، تحمي الزراعة العضوية البيئة في العديد من المجالات الأخرى. تبلغ نسبة الخسارة في محاصيل الزراعة العضوية حوالي 30 %، لهذا يتطلب الحصول على كمية المحاصيل عينها زيادة الأراضي المزروعة بحوالي الثلث مع استعمال الكميات نفسها من الأمور الأخرى. في الولايات المتحدة الأمريكية، يُستخدم 80 % من الأراضي الزراعية لتغذية الحيوانات، في حين يُستخدم 60 % من الأراضي في أوروبا الغربية للغرض عينه. وبهذا فإنه من الممكن عند تخفيض استهلاكنا من اللحوم في شكل كبير، تحويل زراعتنا إلى نشاط «نظيف».

تستند عوائد الزراعة الصناعية المرتفعة جداً إلى استهلاك كميات كبيرة من النفط، ما يؤدي إلى انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون.

أسمدة ومبيدات لا غنى عنها

علاوةً على ذلك، أصبحت الزراعة مستهلكاً شرهاً للمبيدات والأسمدة. لا شك في أن الأصناف الحديثة مرتفعة الإنتاجية، إلا أنها غير قادرة على النمو من دون هذا الدعم الصناعي. لكن الأسمدة والمبيدات الحشرية (علماً أن الأخيرة مصنوعة من مشتقات البترول) تحتاج إلى التصنيع والنقل، الأمر الذي يستهلك طاقة ويصدر انبعاثات. بالإضافة إلى ذلك، تؤدي الأسمدة النيتروجينية إلى إنتاج أول أكسيد النيتروجين، وهو أحد أنواع غاز الدفيئة الذي يتميز بقوة تفوق قوة ثاني أكسيد الكربون (مع حجم مساوٍ).

ارتفاع استهلاك اللحوم

ولا يجب أن ننسى أن طعامنا بات يعتمد على اللحوم أكثر من ذي قبل. يستهلك سكان البلدان المتقدمة نحو 100 كلغ من اللحم للشخص الواحد في السنة. ومن المعلوم أن اللحوم تولد انبعاثات كبيرة. فإنتاج اللحم يتطلب في البداية علف الحيوانات لتسمينها، من خلال حبوب تنتجها الزراعة الصناعية. ويحتاج علف الحيوانات إلى كميات كبيرة من الحبوب؛ إذ يتطلب إنتاج كيلوغرام واحد من لحم البقر حوالي 50 كلغ من الحبوب. غير ذلك، من الضروري بناء حظائر مناسبة لهذه الحيوانات وتدفئتها. أخيراً، تطلق الماشية كميات كبيرة من غاز الميثان في الهواء لزوم عملية التخمير المرافقة للهضم. ويضاف إلى ذلك الانبعاثات الناجمة عن

أدت عولمة الزراعة إلى تدفق كميات غير معقولة من السلع من دول نصف الكرة الجنوبي (في الصورة دراق من جنوب أفريقيا) إلى المدن الأوروبية والأمريكية.

إنتاج مختلف منتجات الألبان (الزبدة، والحليب، والجبن...). وبهذا، يصدر استهلاك كيلوغرام واحد من لحم العجل 12 كيلوغراماً من مكافئ الكربون، وهي كمية تعادل تلك الصادرة عن مشوار في السيارة لمسافة 200 كلم! كذلك فإن استهلاك كيلوغرام من الزبدة يولد 3 كلغ من الكربون، أي الكمية ذاتها التي تصدرها سيارة تسير لمسافة 50 كلم.

أما أنواع اللحوم الأخرى مثل الدواجن فتصدر انبعاثات أقل بعشرين مرة من اللحوم المذكورة أعلاه، إلا أنها تبقى أكثر من تلك المنبعثة من النباتات. مع ذلك، تضاعفت خلال القرن العشرين كمية اللحوم المستهلكة للفرد الواحد سنوياً مرتين أو ثلاث مرات في الدول الغربية. وعلى الصعيد العالمي، ازدادت الكمية بنسبة 60 % على مدى السنوات الأربعين الماضية، لتصل إلى 37 كلغ في العام 1998. أما بالنسبة إلى تعداد الأبقار، فقد تضاعف أربع مرات منذ بداية القرن (ليصل إلى 1.3 مليار رأس في عام 2001 – باستثناء الجواميس). أما تعداد الخنازير فقد تضاعف 11 مرة ليصل إلى 922 مليون رأس، في حين تضاعف تعداد الدواجن (الدجاج) عشرين مرة، ليصبح اليوم 14.8 مليار طير في مختلف أنحاء العالم.

مواد غذائية جوالة

بالإضافة إلى ذلك، باتت الأسواق العالمية وجهة المنتجات الزراعية، بعد أن كان هدف

الزراعة الأساسي على مدى آلاف السنين ينحصر في تلبية الاحتياجات المحلية، أو على الأكثر الإقليمية. ففي الفترة الممتدة بين عامي 1968 و1998، زادت التبادلات الزراعية بنسبة 184 % ، في حين زاد الإنتاج بنسبة 84 %. كذلك شهد التصنيع الغذائي – وهو صناعة تحويلية للمنتجات الزراعية – تطوراً مماثلاً. وقد نتج عن ذلك كله انفجار في التبادلات وبالتالي في حركة نقل السلع والمنتجات الزراعية والغذائية.

في فرنسا، تشير الإحصاءات الرسمية إلى أن هذا النشاط يستحوذ على 35 % من حركة الشاحنات، أما في بريطانيا فيستحوذ على 40 % منها.

والجدير بالذكر أن نسبة كبيرة من المنتجات المنقولة تتألف من أنواع بسيطة وليست من السلع التي لا تستطيع البلدان المستوردة إنتاجها؛ فعلى سبيل المثال استوردت المملكة المتحدة 126 مليون لتر من الحليب في العام 1997 ، في حين أنها صدرت 270 مليون لتر في العام عينه! وقد أشارت دراسة أمريكية تناولت سلة نموذجية تتألف من 26 منتجاً، إلى أن البضائع تجول حول العالم ست مرات (241 ألف كلم) قبل أن تصل إلى المستهلك! غير ذلك، أصبحت الطائرة تُستخدم أكثر فأكثر لنقل البضائع، علماً بأنها تصدر كميات من مكافئ الكربون تزيد على تلك التي تصدرها الباخرة بخمسين مرة. وهكذا فإن كيلوغراماً واحداً من التفاح تستورده أوروبا من جنوب أفريقيا مثلاً يصدر 3 كلغ من مكافئ الكربون في مقابل ثلاثة غرامات فقط – أي أقل بألف مرة – في ما لو أُنتج محلياً.

صناعة المواد الغذائية تحتل مكانةً مرموقة في العالم

أخيراً، يعد تصنيع الأغذية الزراعية مصدراً لكميات كبيرة من انبعاثات غازات الدفيئة. تتعدد الأطباق والوصفات التي يمكن تحضيرها وتختلف، لكنها كلها تستهلك كميات كبيرة من الطاقة. ففي ما يتعلق بالمواد الغذائية المجلدة، لا بد أولاً من طهيها بحرارة مرتفعة، ومن ثم تخزينها في مكان بارد، وأخيراً الحرارة مرة أخرى لاستهلاكها! عند الحديث عن التعليب، يصف البعض صناعة المواد الغذائية بالصناعة النهمة. فعلى سبيل المثال، تستهلك المملكة المتحدة، وهي دولة متقدمة، 80 مليون علبة للتعبئة وعلب أخرى من الألمينيوم أو الصلب يومياً، لا يعاد تدوير إلا كميات ضئيلة منها.

إن تصنيع الأغذية (تصنيع لحوم الدواجن المبردة والمغطاة بمسحوق الخبز) مسؤولة عن انبعاثات كبيرة. فعملية التبريد تحديداً تستهلك كثيراً من الطاقة.

تنوع المنشآت

تُعد الانبعاثات المتعددة الصادرة عن المباني أحد أكبر عوامل توفير الطاقة، وذلك عبر تدابير بسيطة مثل العزل.

مبانٍ تصدر كميات كبيرة من الانبعاثات

تستهلك بيوتنا ومكاتبنا حوالي 35 % من الطاقة المنتجة في العالم، وبذلك تشكل واحدة من أكبر مصادر انبعاثات غازات الدفيئة؛ فقد بلغت كمية مكافئ الكربون المنبعث من استهلاكها في العام 1990 ما يساوي 1.65 جيغا طن.

وقد زاد هذا الاستهلاك بنسبة 3 % سنوياً في الفترة الممتدة بين عامي 1970 و1990، ويستمر حالياً في النمو بمعدل يقارب 2.5 %. ينتج هذا الاستهلاك بشكل أساسي عن الإضاءة والتدفئة وتكييف الهواء وتسخين المياه.

وتقدر الدراسات أن تدفئة منزل متوسط الحجم، على سبيل المثال، تصدر 2.4 طن من مكافئ الكربون سنوياً، إذا اعتمد سكانه على الوقود للتدفئة (3000 لتر). أما التدفئة على الكهرباء فتؤدي إلى انبعاثات تتوقف كميتها على البلد؛ ففي فرنسا (التي تعتمد بشكل كبير على الطاقة النووية) تبلغ كمية الانبعاثات الناجمة عن التدفئة 0.6 طن، في حين تصل في الدانمارك، حيث لا يزال استعمال الفحم شائعاً على نطاق واسع، إلى 5،5 طن.

فاعلية العزل

كما هو معروف، فإن اتخاذ بعض التدابير البسيطة نسبياً كالعزل، يمكن أن يقلل كثيراً من هذا الرقم، وقد عمدت دراسة أمريكية إلى دراسة منزل يتألف من طابق واحد وتبلغ مساحته 64 متراً مربعاً: تبلغ الطاقة المستخدمة يومياً لتدفئة هذا المنزل بفارق عشر درجات مئوية عما هي عليه في الخارج 5.8 كيلوواط، من دون اتخاذ أي تدابير عزل خاصة. ومع اتخاذ تدابير عزل معتدلة (زجاج مزدوج، أرضية 50 ملم، تغطية السقف)، انخفضت كمية الطاقة إلى 2.65 كيلوواط، أي إلى النصف. وفي السياق عينه، سجل الاتحاد الأوروبي أرقاماً مماثلة، إذ حصلنا على تخفيض بنسبة 42 % من الانبعاثات بعوازل بسيطة من الصوف المعدني. وقد تبين أنه في بلد مثل فرنسا، يؤدي تجديد المساكن التي يفوق عمرها 30 عاماً وفق المتطلبات الحرارية الصارمة إلى توفير 10 % من الانبعاثات في البلاد!

أما بالنسبة إلى المنازل الجديدة، فقد باتت تخضع لتدابير التنظيم الحراري. لكن من

تقدم في متناول اليد

خلافاً لقطاع النقل، يمكن توفير كميات كبيرة من الطاقة مع تحقيق النتائج عينها في قطاع البناء. وبهذا بات تخفيض الانبعاثات إلى النصف في غضون عشرين عاماً، هدفاً يسهل تحقيقه وفقاً للجنة الدولية للتغيرات المناخية. وتبدو كلفة هذه التحسينات منخفضة نسبياً، غير أن حجم التغييرات المطلوبة يتطلب البدء سريعاً بالعمل.

يستهلك عدد كبير من المباني المرموقة (هنا مقر المصرف المركزي الألماني في فرانكفورت) كثيراً من الطاقة، لا سيما الأبراج الزجاجية التي تتطلب الكثير من التدفئة والتبريد.

المهم التأكد من أنها تتوافق مع التكنولوجيا الأمثل في هذا المجال؛ إذ يعيش أكثر من مليار ونصف المليار نسمة في مناطق تحتاج بشكل ضروري إلى التدفئة في فصل الشتاء.

ما الذي يمنع استخدام الخشب والطاقة الشمسية؟

يمكن لتسخين المياه أن يكون هو أيضاً «أنظف» مما هو عليه حالياً. فبينما يستعمل الناس الكهرباء لتسخين المياه، يعد استعمال الطاقة الشمسية لهذا الغرض خياراً أكثر عقلانية وملاءمة من استعمال الكهرباء. وقد بينت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة، أنه إذا تم تزويد 10 % فقط من المباني في الولايات المتحدة بأنظمة مياه ساخنة تعتمد على الطاقة الشمسية، يمكن تجنب 8.4 مليون طن من الانبعاثات. تنخفض كمية الانبعاثات بشكل كبير في المناطق الدافئة التي تستفيد من أشعة الشمس، والتي يعيش فيها مليارات من البشر. ويمكن للسكان الذين يعيشون في مناطق لا تستفيد كثيراً من الشمس، والتي تحتاج إلى تدفئة، اللجوء إلى الطاقة الشمسية أو إلى مصادر طاقة متجددة أخرى. تعد الطاقة الحرارية الأرضية التي تستعمل المياه الساخنة الجوفية، على سبيل المثال، حلاً لا يزال نادر الاستخدام.

توفر ثقافة المنزل المنفرد (في الصورة مجمع خاص في الولايات المتحدة) مسكناً أكثر استهلاكاً للطاقة من المساكن الجماعية، التي تضم كل وحدة منها جدراناً مشتركة مع الوحدات الأخرى.

ويُعد الحطب، في حال استحصل عليه الإنسان من غابات تخضع للتقليم، وليس من قطع الأشجار بأكملها، مصدراً متجدداً للطاقة. يسمح تطوير هذا الوقود في البلدان التي تضم غابات كبيرة، بالحد من اتساع الهوة بين إنتاج الطاقة واستهلاكها بنسبة كبيرة.

الحلقة المفرغة للتكييف

غير ذلك، يعاني سكان الأرض من مشكلة التكييف، حيث يستأثر بـ 6 % من استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة، ولا يزال يحقق معدلات نمو كبيرة في عدد من الدول الأخرى.
في البلدان الصناعية التي تتمتع طبيعتها بمناخ حار، كاليابان مثلاً، يُعد تكييف الهواء مسؤولاً عن مستويات استهلاك الطاقة المرتفعة جداً في فصل الصيف، الأمر الذي يشكل ظاهرة مثيرة للقلق. لماذا؟ لأن تكييف الهواء يقدم مثالاً ممتازاً للأثر الضار غير المباشر الذي

يتركه الاحتباس الحراري. في حال استهلك الإنسان المزيد من الطاقة لتبريد المباني عند ارتفاع درجة حرارة المناخ، ستولد هذه الطاقة كميات جديدة من الانبعاثات من شأنها أن تزيد من خطورة الوضع.

وبالإضافة إلى ذلك، لا بد من الإشارة إلى أن جهاز تكييف الهواء الذي يبرد غرفة يزيد من حرارة الغرفة المجاورة أو الهواء الخارجي، ما قد يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء في شوارع المدن بشكل ملحوظ! غير ذلك، يعتمد تكييف الهواء على مبردات تحتوي على مركبات الكربون الهيدروكلورية الفلورية، التي تعد من غازات الدفيئة القوية التي تبقى لفترات طويلة من الزمن، وقد أتت لتحل محل مركبات الكربون الكلورية الفلورية (الكلوروفلوروكربون أو CFC) لأنها، وبخلاف هذه الأخيرة، لا تضر بطبقة الأوزون. غير أن البعض يعتقد أنها تزيد من نسبة الاحترار أكثر من ثاني أكسيد الكربون بـ 12 ألف مرة لكل كيلوغرام، وأن قسماً كبيراً منها ينتهي به الأمر في الغلاف الجوي، عند انتهاء صلاحية المعدات التي تحتويها.

تزايد عدد البيوت وحجمها

أخيراً، تستلزم عملية البناء حالياً كميات كبيرة من المواد التي تصدر كميات هائلة من الانبعاثات، خصوصاً وأنها تنقل بواسطة الشاحنات مسافات طويلة، كما يتطلب إنتاجها الكثير من الطاقة. فكل طن من الإسمنت على سبيل المثال، يصدر 325 كلغ من مكافئ الكربون. وقد قُدِّر إجمالي الانبعاثات الناتجة عن بناء منزل بـ120 كلغ من مكافئ الكربون لكل متر مربع. وهكذا يصدر منزل تصل مساحته إلى 100 متر مربع 12 طناً من مكافئ الكربون في الغلاف الجوي!

تزداد نسبة استهلاك الطاقة بغرض التدفئة مع ازدياد مساحة المنزل. إلا أن البيوت تميل اليوم إلى التوسع: ففي الولايات المتحدة على سبيل المثال، زادت مساحتها في العام 2000 أكثر من الثلث مقارنة بالعام 1975، حيث يفضل الناس المسكن المنفرد على المساكن الجماعية التي تعد أكثر توفيراً في الطاقة. ويعد استعمال بعض المواد التقليدية، لا سيما الخشب الذي يخزن الكربون ويشكل عازلاً ممتازاً، تدبيراً عملياً سهل التنفيذ.

الإنتاج الصناعي

يهدف مجتمعنا إلى تحقيق النمو، بعبارة أخرى إلى إنتاج مواد مصنعة بكميات أكبر وأكبر. إلا أن كل منتج منها يولد انبعاثات أثناء عملية التصنيع.

إنتاج يتضاعف أربعين مرة خلال قرن من الزمن

نعلم منذ أكثر من ثلاثة قرون، أن العمليات الصناعية تتطلب كميات هائلة من الوقود: كانت أولى مصانع الحديد والزجاج تعمل على الخشب، وكان مصنع حديد متوسط الحجم يستهلك ألفي هكتار من الغابات سنوياً خلال القرن الثامن عشر... مع بداية الثورة الصناعية، اختفت الغابات الأوروبية تقريباً في العديد من الأماكن، تحت ضغط احتياجات المجتمعات إلى الطاقة! منذ ذلك الحين، زاد التقدم التكنولوجي من كفاءة عمليات الإنتاج، وفي القرن العشرين، ازداد الإنتاج الصناعي أربعين ضعفاً. وبهذا بات هذا القطاع أحد أكبر مصادر الانبعاثات على كوكب الأرض.

عمليات إنتاج نهمة للطاقة

يتطلب حساب الانبعاثات الناتجة عن صناعة المنتجات التي يستهلكها الإنسان، معرفة دورة حياة هذا المنتج ككل: أي شروط استخراج الخامات، التحولات المتتالية التي تخضع لها والطاقة التي تتطلبها، ومختلف وسائل النقل المستخدمة. من هنا، يبدو واضحاً أن المستهلك العادي يعجز عن القيام بهذا الحساب، في حين يسهل على المصنّعين المعنيين بهذا الشأن القيام به.
لإشراك الجميع في تحمل المسؤولية تجاه ظاهرة الاحتباس الحراري، يبدو خيار تدوين معلومات عن الانبعاثات التي يصدرها المُنتَج على عبوته، إلى جانب مكوناته وسعره، خياراً جيداً. نلاحظ في المجال الصناعي أن صناعة المواد الأساسية تمثل عادة 80 % من تكاليف الطاقة المستعملة للمنتَج، بينما يمثل تحضيرها للاستهلاك النهائي العشرين في المئة المتبقية. من هنا تأتي أهمية إعادة التدوير، التي غالباً ما تسمح بتحقيق مكاسب بنحو 40 % (ولكن لا بد من أن نأخذ في الاعتبار تكلفة الطاقة الناجمة عن جمع النفايات ونقلها). يتطلب إنتاج المعادن من المواد الخام، على سبيل المثال، كميات كبيرة من الطاقة، لأن العمل على المعادن يستلزم درجة حرارة عالية. وبهذا تولد صناعة الصلب 870 كلغ من الكربون لكل طن من الفولاذ المنتج، في حين يصدر الألمينيوم، الذي يستهلك كميات هائلة من الكهرباء، ثلاثة أطنان من الكربون لكل طن منتج!

معجم

طاقي: متعلق بالطاقة ومصادرها.

حتى صناعة البلاستيك (الذي يتم الحصول عليه عبر مشتقات نفطية) تسبب انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، تراوح بين 500 و1600 كلغ لكل طن منتج.

مُنتَج يطلق كميات من الكربون تعادل وزنه تقريباً

للحصول على فكرة تقريبية جداً عن الانبعاثات الناجمة عن إنتاج المواد التي نستعملها في حياتنا اليومية، يمكننا أن نأخذ في الاعتبار أن وزنها يفوق بمكافئ الكربون مرة أو مرتين وزنها الفعلي. إلا أن هذا التقدير يبقى بالطبع تقريبياً: فلا شك أن جهاز كمبيوتر محمول، مع ما يحتويه من أدوات معقدة ومتطورة وسيليسيوم ومزيج من المعادن، يتخطى هذا الحد بكثير، في حين أن قارورة من المياه المعدنية هي تحت هذا المستوى بكثير (على الرغم من أنه لا يمكن التقليل من أهمية الانبعاثات الصادرة عن نقل المياه المعدنية، التي عادة ما تقطع مسافات طويلة في الشاحنات قبل أن تصل إلى المستهلك خلافاً لمياه الحنفية). إلا أن هذا الواقع يقدم ترتيباً عملياً بحسب الحجم: فغسالة صحون يبلغ وزنها 30 كلغ، على سبيل المثال، تصدر ما بين 30 و60 كلغ من مكافئ الكربون.

تضاف إلى الانبعاثات المذكورة للمنتجات التي نستهلكها، مسألة التغليف التي اتخذت منحى مَرَضياً في الدول الصناعية، وذلك لشموليتها. تولّد صناعة الورق والورق المقوى حوالي 500 كلغ من الكربون لكل طن مُنتَج منها. وقد ترك إلغاء القناني المرتجعة، على سبيل المثال، واستبدالها بعلب الألمينيوم أو العبوات الكرتونية، أثراً وخيماً على المناخ.

تتيح إعادة التدوير تجنب مراحل الإنتاج الصناعي التي تستهلك الكمية الأكبر من الطاقة، ومنها على سبيل المثال إنتاج الألمينيوم الأولي في المصنع البادي في الصورة.

مشكلة الطاقة

لا يزال استهلاك الطاقة يزداد في عالمنا بسرعة صاروخية، ويأتي النفط والغاز في طليعة مصادر الطاقة المستهلكة اليوم، على الرغم من قرب استنفاد مخزونهما.

عشرة مليارات طن من المكافئ النفطي سنوياً

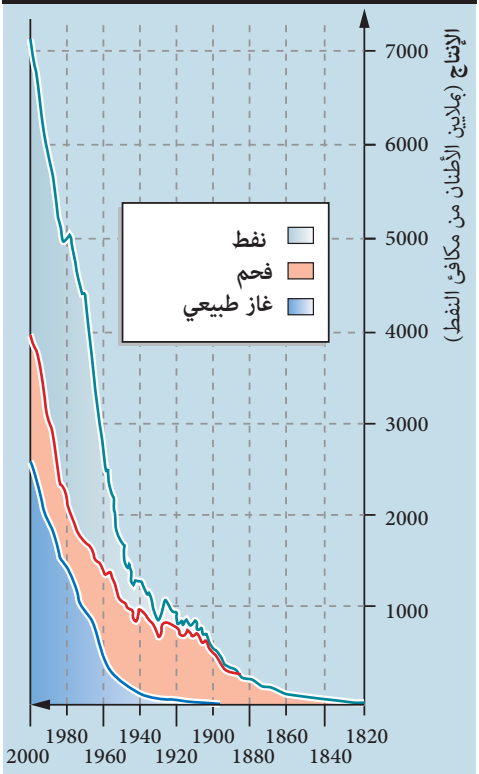
يشير المؤرخ جي آر ماكنيل، الذي سبق وأتينا على ذكره، أن الطاقة التي يستخدمها الإنسان قد تضاعفت خلال القرن العشرين 16 مرة، في حين تضاعفت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون 17 مرة.

ويدل التوازي القائم بين الرقمين على الكثير: تقع مسؤولية زيادة الانبعاثات بشكل مباشر جداً على شره الإنسان تجاه الطاقة.

عرف استهلاك الطاقة انفجاراً مع الثورة الصناعية (1860)، وذلك بفضل اكتشاف إمكانات الوقود الأحفوري؛ الفحم أولاً، ثم النفط (على نطاق واسع منذ العام 1950)، والغاز الطبيعي مؤخراً. تمثل أنواع الوقود الأحفوري الآن أكثر من 80 % من استهلاك الطاقة، والذي يصل إلى حوالي 10 مليار طن من المكافئ النفطي في السنة، أو 13000 مليار واط.

ويبدو عدم المساواة في هذا السياق سمة أساسية من سمات مجتمعنا؛ إذ يستعمل الإنسان 2.2 كيلوواط كحد متوسط، إلا أن هذا الرقم يرتفع إلى 11 كيلو واط في حال كان مواطناً أمريكياً، في حين أن ملياري شخص يعجزون عن الحصول على أي نوع من أنواع الطاقة التجارية، معتمدين فقط على ما يشعلونه من خشب وروث مجفف، إلخ.

إنتاج الوقود الأحفوري في المئتي سنة الأخيرة



أطلقت الزيادة غير العادية التي شهدها إنتاج النفط والغاز خلال القرن العشرين مليارات الأطنان من الكربون في الغلاف الجوي، بعدما كانت مطمورة في أعماق الطبقات الجوفية لملايين من السنين.

على غرار معظم المدن العصرية، يتطلب هذا الشارع التجاري في طوكيو بأضوائه المبهرة، الكثير من الطاقة.

الطاقة رهن بسلطة الإنسان على الطبيعة

ما حاجتنا إلى كل هذه الطاقة؟ إنها بكل بساطة تساعد الإنسان على تحويل العالم إلى مكان تسهل عليه الحياة (أو على الأقل على اعتباره كذلك). إذا كان حل مختلف المشاكل التي يواجهها الإنسان – من سكن ومأكل وملبس ونقل وتعلّم... – يتطلب مواد ووسائل متنوعة، يبقى القاسم المشترك بينها جميعاً استهلاك الطاقة، لأن هذه الأخيرة تشكل أساساً العنصر الذي يسمح بتحويل المادة. لا شك في أن الحصول على كمية كبيرة من الطاقة يتيح، مع مقدار معين من التكنولوجيا، حل معظم المشاكل المتعلقة بالموارد، بحيث يمكن استيراد المواد غير المتجددة، أو إعادة إنتاجها أو استبدالها بمواد أخرى. هكذا تلبي المملكة العربية السعودية، التي لا تملك أي مصادر مياه عذبة طبيعية، احتياجاتها المائية بسهولة من محطات تحلية مياه البحر التي يحتاج تشغيلها إلى النفط. وقد باتت عبارة «لا توجد مشكلة موارد، بل توجد مشكلة طاقة فقط» تلخص الواقع.

انبعاثات متنوعة

ولكن هل تصدر مختلف أنواع الطاقة غازات الدفيئة؟ الجواب ببساطة هو نعم. فما يسمى بالطاقات المتجددة، تتطلب صناعة أجهزة تحويل خاصة لوضعها في متناول المستهلك (توربينات الرياح، والسدود لتوليد الطاقة الكهرمائية، إلخ.)، كما أن الطاقة النووية تتطلب بناء منشآت ضخمة. يستهلك بناء هذه المنشآت مواد تصدر انبعاثات (يحتوي الباطون، على سبيل المثال، كميات كبيرة من الإسمنت). ومع ذلك، تبدو هذه الانبعاثات في حالتي الطاقة المتجددة والطاقة النووية منخفضة جداً.

لإنتاج 1 كيلو واط ساعة من الكهرباء، تصدر المحطات العاملة على طاقة الرياح ما بين 1 و6 غرامات من مكافئ الكربون، وتصدر المحطات المائية 1.1 غرام، والمحطات النووية 1.6 غرام، في حين تصدر المحطات العاملة على الطاقة الشمسية 16–41 غراماً (بسبب الحاجة إلى إنتاج السيليسيوم). تختلف هذه الأرقام كثيراً عن أرقام الانبعاثات الناجمة عن الوقود: فمنشأة الغاز الطبيعي الأكثر فعالية (الوقود الأنظف) تولد 120 غراماً من مكافئ الكربون لكل كيلوواط ساعة، في حين يتضاعف هذا الرقم عند الحديث عن محطات الفحم ليصل إلى 250 غراماً. ولا بد من الإشارة إلى أن الخشب يعتبر مصدراً متجدداً، يصدر كميات منخفضة جداً من الانبعاثات حين يكون مستمداً من غابات تعاد زراعتها، إلا أن الأمر يختلف تماماً حين يتم قطع الأشجار بهدف إزالة الغابات. في هذه الحالة، ينبعث كل الكربون الصادر عن الخشب لإنتاج الطاقة في الغلاف الجوي... والذي تقدر كميته بـ400 غرام لكل كيلو واط ساعة!

معجم

احتياطي: نعني بهذا المصطلح كميات النفط والغاز التي لم يتم استخراجها بعد من الطبقات الجوفية. يعد تقديرها أمراً صعباً على الصعيد التقني وحساساً على الصعيد السياسي، إذ يشكل مادة دسمة للجدال.

هيمنة النفط والغاز (الهيدروكربون)

للأسف، كما سبق وذكرنا، يعتمد إنتاج الطاقة العالمي في غالبيته العظمى (80 % تقريباً) على النفط والغاز (الهيدروكربون)، ويرجع ذلك إلى ملاءمتهما الاستخدامات كافة في الواقع، يركز الهيدروكربون كميات كبيرة من الطاقة في حجم صغير، حيث إن لتراً واحداً من الوقود يسمح بتشغيل سيارة تزن طناً واحداً تقريباً مسافة 20 كلم في وقت قصير جداً!

بالإضافة إلى ذلك، يتميز الهيدروكربون بميزتان ثمينتان: سهولة التخزين، وسهولة النقل، إلا أنه في المقابل يولد كميات كبيرة من النفايات عند استعماله، البعض منها مضر بالصحة العامة (غبار، أكسيد النيتروجين) وبعضها الآخر مضر بالغلاف الجوي (ثاني أكسيد الكربون). يصدر طن من مكافئ النفط من الغاز الطبيعي 651 كلغ من مكافئ الكربون. يرتفع هذا

حقل منشآت نفطية بالقرب من باكو في أذربيجان: يوشك احتياطي النفط في هذه الدولة على النفاد.

هل يساهم نضوب الموارد في إنقاذنا؟

هل يكفي نضوب موارد الهيدروكربون المتوقع لحماية أنفسنا من أسوأ نتائج الاحتباس الحراري؟ للأسف لا. إذ تقدر احتياطيات مختلف أنواع الوقود حالياً بنحو 4000 مليار طن من مكافئ النفط، أي ما يكفي لزيادة الانبعاثات بنسبة 3 % (أي إطالة أمد المعدل الحالي) طوال القرن الحادي والعشرين. وبهذا قد تصل كميات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، على الأرجح، إلى مستويات أسوأ من تلك التي توقعتها اللجنة الدولية للتغيرات المناخية. بمعنى آخر، سيواجه الإنسان تغيراً مناخياً مفاجئاً جداً... في فترة لن يملك خلالها إلا كميات قليلة جداً من احتياطيات الطاقة الأحفورية، لاتخاذ تدابير تساعده على التكيف مع الواقع الجديد! إزاء واقع مماثل، يفرض المنطق استثمار الضروري فقط من «رأس المال الأحفوري»، للتحضير للانتقال إلى مصادر طاقة نظيفة ...

الرقم ليصل إلى 830 كلغ للبنزين و1123 كمعدل وسطي (ثمة نوعيات مختلفة) للفحم.

وقود أحفوري أكثر تلويثاً

هل بدأت هيمنة الهيدروكربون المطلقة كمصدر أساسي للطاقة المستهلكة اليوم، بالتراجع أو على الأقل بالانعكاس؟ مطلقا. لا شك في أن استخدام الطاقة المتجددة آخذ في الازدياد، لكن الحال نفسه يسري على مختلف أنواع الوقود الأحفوري أيضاً! يبقى الفحم – بانبعاثاته التي تفوق البترول بـ 50 % والغاز الطبيعي بـ 100 %– المصدر الأكبر للقلق؛ فاستعماله لا يزال يتزايد، حتى وإن كان استعمال أنواع أخرى من الهيدروكربون يزداد بشكل جامح. وتجدر الإشارة إلى أن الصين تمتلك احتياطات كبيرة من الفحم، في حين يؤدي عدم الاستقرار الذي يشهده العالم إلى صعوبة الوصول إلى حقول النفط الجيدة. أخيراً، نشير إلى أن كميات الفحم في الطبقات الجوفية تفوق كميات الغاز بسبع مرات، وتفوق كميات النفط بخمس مرات، حتى وإن بدا التقدير غير مألوف. يؤدي الاستمرار في الاعتماد على الهيدروكربون مباشرة، إلى استهلاك وقود يصدر كميات أكبر من الانبعاثات، أكثر من أي نوع من أنواع الطاقة الأخرى، أي عكس ما هو مطلوب تماماً. بالإضافة إلى ذلك، بدأت شركات النفط بقطف الثمار من الغصون المنخفضة، بمعنى أوضح، بدأت باستخراج المخزون الأقرب والأفضل. وبقدر ما يجدر استغلال المخزون الأصغر والأعمق أو الأبعد، الذي يحتوي على نفط أقل طاقة، تكون الانبعاثات لكل وحدة طاقة مستخرجة أكبر فأكبر.

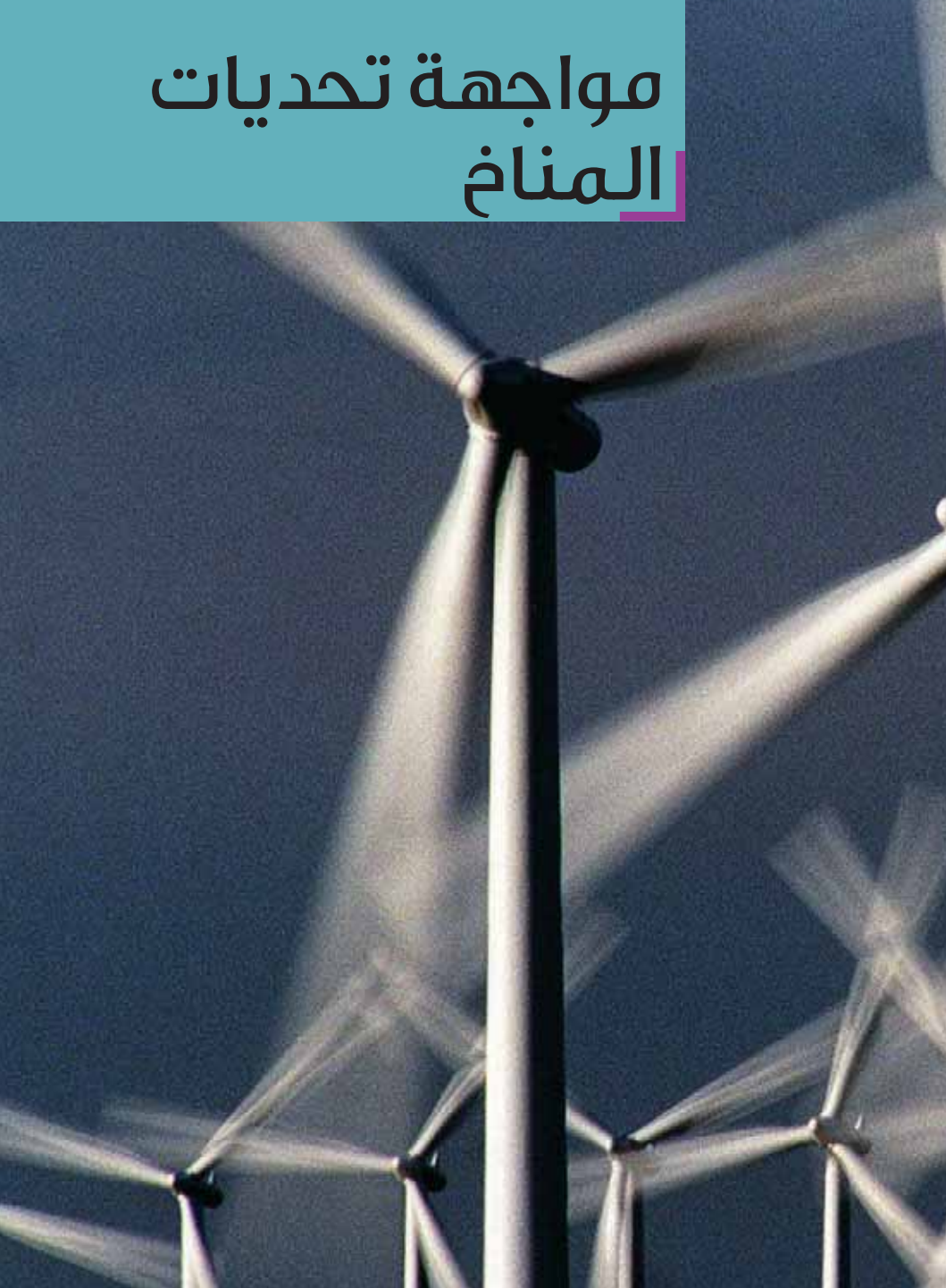
التحضير للانتقال

أخيراً، والأهم من ذلك، حتى لو أخذنا في الاعتبار وجود كميات من النفط لا تزال تنتظر من يكتشفها، لا بد من أن نتوقع منذ الآن إمكانية نضوب إجمالي المخزون من الوقود الأحفوري بعد أربعين سنة بالنسبة إلى النفط والغاز الطبيعي، وثمانين سنة بالنسبة إلى الفحم الحجري. إن هذا المخزون يكفي لرفع الكربون في الغلاف الجوي إلى مستويات مرتفعة جداً، الأمر الذي يشكل خطراً كبيراً. إن فترة الأربعين سنة ستمر بسرعة كبيرة، وسيشهد أطفال اليوم على غلاء دراميتيكي لأسعار النفط والغاز الطبيعي. أمام هذا العدد القليل من السنوات الذي يفصلنا عن النضوب المرتقب، يتعين علينا منذ الآن التحضير للانتقال إلى اقتصاد خالٍ من الكربون.

لم يعد الإنسان يملك إلا وقتاً قليلاً، لا يكاد يتجاوز بضعة عقود كحد أقصى، للقيام بتغيير نمط حياته واقتصاده بشكل جذري. ولحماية نفسه من المخاطر المناخية، يتعين عليه أن يخفض الانبعاثات الناتجة عن نشاطه المتنوع بمعدل النصف، قبل حلول العام 2050. في الحقيقة، لم يظهر بعد أي حل معجزة كفيل بتحقيق ذلك، لكن يمكننا الاستفادة من مجموعة متنوعة من الخيارات، لا بد من أن نضعها جميعها موضع التنفيذ: تكنولوجيا نظيفة، طاقة متجددة، تخزين الكربون، الحفاظ على الطاقة والحد من استهلاكها، وأخيراً الطاقة النووية. ويعني هذا التغيير العميق في أسلوب حياتنا، ظهور قيم جديدة ومشروع اجتماعي جديد.

تُعد طاقة الرياح طاقة متجددة، ولا تنتج تقريباً أي انبعاثات كربونية، إلا أن عيبها الوحيد هو في كونها مصدراً متقطعاً ومنخفضاً للطاقة.

مواجهة تحديات المناخ



هدفنا: تقليل الانبعاثات بمعدل النصف

للاستفادة من الفرص المتاحة أمامنا لمنع الاحترار من تجاوز درجتين
مئويتين، وهو الحد الذي تصبح المخاطر عنده مقلقة، لا بد من خفض
الانبعاثات بسرعة بمعدل النصف.

خفض الانبعاثات بمعدل النصف

سبق وذكرنا أنِ البيئة الطبيعية تمتص (حالياً) أكثر بقليل من ثلاثة مليارات طن من مكافئ الكربون سنوياً. لذلك لا بد من خفض ما نصدره من انبعاثات إلى ثلاثة مليارات طن، منعاً لزيادة كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؛ بمعنى آخر، لا بد من ضمان استقرار تركيز هذا الغاز في الغلاف الجوي. لكن لا يجدر بنا الخلط بين ضمان استقرار الانبعاثات

وضمان استقرار التركيزات! فإذا ضمنّا استقرار الانبعاثات على المستوى الحالي، ستستمر التركيزات الجوية مع ذلك في النمو بشكل خطر.
تبعاً لذلك، وإن أردنا أن نكون منصفين، لا بد من خفض الانبعاثات العالمية في أقرب وقت ممكن بمعدل النصف، وقسمة انبعاثات دول منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية على 6 (وعلى 12 للولايات المتحدة الأمريكية). في الواقع، تعد هذه الأرقام طموحة جداً ويبدو بلوغها أمراً مستبعداً إن استمرت حياتنا على ما هي عليه حالياً، وإن اكتفينا ببعض التغييرات الهامشية. فإن كنت تعتقد أن شراء مصابيح جهد منخفض واستعمال الزجاج المزدوج ينقذ الوضع، فاعلم أن اعتقادك هذا سخيف. إن التغيير الاجتماعي الشامل هو وحده القادر على احتواء التحول المناخي ضمن حدود مقبولة.

الخروج من منطقة الخطر

حتى وإن افترضنا وجود إرادة سياسية قوية، مع أنها لم تظهر لدى أي جهة حتى الآن، يتطلب تحقيق هذا الهدف سنين عديدة. وطالما لم يتم تحقيقه، سيستمر مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في الارتفاع، ولا تخفى على أحد خطورة نتائج هذا الارتفاع: كلما أخرنا بذل الجهود، تعين علينا أن نبذل جهوداً أكبر وأهم، وازداد حجم الخطر الذي يتهددنا. فتحقيق استقرار تركيز الغلاف الجوي ليس إلا خطوة وسيطة، تؤدي إلى الهدف الحقيقي المتمثل في إخراج الإنسان من منطقة الخطر المناخية، وبالتالي تحقيق معدل انبعاثات غازات دفيئة في الغلاف الجوي لا يعرض حياة البشر لأي خطر. إن تحقيق الاستقرار هو من دون شك أمر ضروري، ولا بد من تحديد المستوى الذي يتعين أن تستقر عنده الانبعاثات، والفترة التي يتعين علينا خلالها أن نتوصل إلى تحقيقه. ولا بد من الإشارة إلى أن تحقيق الاستقرار المنشود في وقت متأخر، أو عند مستويات عالية جداً، يبدو غير كاف.

تنحسر كتلة كليمنجارو الجليدية بسرعة، على غرار عدد من الكتل الجليدية في جبال الألب، وجبال الهيمالايا والقارة الأمريكية الشمالية.

مسألة العتبة الشائكة

تعد مسألة مستوى الاحترار التي يمكن أن يتحملها الكوكب، قبل أن تطرأ تغيرات كارثية وخارجة عن السيطرة، مسألةً شائكة.
تشير العينات الجليدية إلى أن مستوى ثاني أكسيد الكربون في الهواء لم يتخط منذ أكثر من 750 ألف عام 300 جزء في المليون، إلا أنه تجاوز 380 جزءاً في المليون في العام 2005، الأمر الذي يؤكد فعلاً أننا نمر في سابقة هي الأولى من نوعها، ما يضعف قدرتنا على التنبؤ والتوقع. فمن الممكن أن نكون قد تجاوزنا على سبيل المثال بالفعل عتبةً معينة من دون أن ندرك الأمر، ما قد يسبب من الآن وحتى

التفاوض مع المناخ؟

في عالم اليوم، في الاقتصاد كما في السياسة، يتم تسوية معظم النزاعات من خلال المفاوضات، حيث يقدم طرفا النزاع تنازلات تتناسب وتوازن القوى بينهما. يتم كل شيء كما لو أن صناع القرار يطبّقون، في طريقة واعية بشكل أو بآخر، هذا النهج المعتمد لحل المشاكل البيئية. انطلاقاً من منطق السوق، فلو أراد كل مجتمع زيادة الانبعاثات بنسبة 3 %، في حين لا بد من خفضها بنسبة 3 % تلبية لحاجة النظام المناخي، فإن تحقيق استقرار الانبعاثات يبدو تسوية عادلة. لكن للأسف، ليست طبيعة الغلاف الجوي شريكاً تجارياً، وفي حال لم نلبِ متطلباته ونحترمها، قد يظهر قوى سنعجز عن مقاومتها.

بضعة عقود تعديلاً مفاجئاً وغير متوقع. ومن المهم أن نتذكر دائماً الفارق الكبير في الوقت بين أعمالنا وآثارها الشاملة: فالمناخ هو نظام يتمتع بسكون كبير. في الحقيقة، لا بد من أخذ العقود التي تفصل السبب عن الآثار كمعيار. لذلك، إذا انتظرنا حتى ظهور الأضرار بشكل جلي لنباشر العمل، سنكون قد تأخرنا كثيراً.

درجتان مئويتان، لا أكثر

يشير عدد من الدراسات الحديثة إلى أن أضراراً كبيرة ستظهر، حتى إن لم يتخط الاحترار العالمي 1.5 أو 2 درجة مئوية، سواء في مجال الزراعة العالمية، أو في صحة النظم الإيكولوجية، أو الموارد المائية أو غير ذلك. وبالتالي، سيبدأ ابيضاض المرجانِ عند درجة واحدة إضافية، كما أن ذوبان الغطاء الجليدي في غرينلاند (الذي يسبب ارتفاعاً كبيراً في مستوى سطح البحر) يصبح ممكناً ابتداءً من 1.5 درجة، أما ابتداءً من 3 درجات، فيحتمل أن نشهد تغيرات كبيرة، منها ذوبان الغطاء الجليدي في القطب الجنوبي أو توقف الدورة الحرارية الملحية.

المنطق الاحتمالي

عند أي مستوى من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تتحقق عتبة الدرجة أو الدرجتين الإضافيتين؟ هنا تظهر بوضوح شكوك مصممي النماذج؛ فبالنظر إلى الآثار المرتدة المتعددة التي سبق وأتينا على ذكرها في بداية هذا الكتاب، فإن تحديد تكافؤ ميكانيكي بين الانبعاثات ودرجات الحرارة ليس بالأمر السهل. يشير عدد من المقالات التي نشرت في العام 2005، إلى أن الحد من ارتفاع درجات الحرارة بنسبة درجتين، يُفترض به أن يبقي مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي دون 400 جزء في المليون، مع الأخذ في الحسبان هامش من الخطأ. في حال كنا على استعداد للقبول باحتمال أقل، يمكننا أن نقبل بـ 550 جزء في المليون، أي بمعنى أوضح ضعف التركيز ما قبل الصناعي. يبدو أن اللجنة الدولية للتغيرات المناخية من جهتها توصي بـ450 جزء في المليون كرقم وسطي. لكن وكالة الطاقة الدولية تتوقع في تقرير صدر في العام 2004، أنه ابتداء من العام 2050، ستزيد تركيزات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 63 %

معجم

أثر مرتد: عملية تؤثر بصورة مرتدة على الظاهرة التي أنتجتها. نعني بالأثر المرتد الإيجابي عندما تتعزز قوة الظاهرة: فظاهرة الاحتباس تزيد من نسبة التبخر، الذي يؤدي بدوره إلى تفاقم ظاهرة الاحتباس (البخار هو نوع من أنواع غازات الدفيئة). يمكن للآثار المرتدة أن تكون سلبية أيضا.

يُعد النقل المزدوج، أي نقل الشاحنات بواسطة القطارات، ممارسة واعدة جداً في سياق حماية البيئة. لكن تعميمها يتطلب استثمارات كبيرة، يمكن لعدد محدود من الدول حالياً تحملها.

مقارنة مع المستويات الحالية، أي أنها ستتخطى 600 جزء في المليون. وهذا الأمر يعني أنه، من دون تدخل متعمد، سنجد أنفسنا سريعاً في منطقة الخطر.

ما يقارب كيوتو واحد كل عام؟

مع أنه من الصعب تقديم تقديرات كمية، يبدو أن لا خلاص من دون العمل سريعاً على خفض الانبعاثات الصادرة عن الإنسان. يشير المصممون إلى أن هذه الانبعاثات يجب أن تصل إلى حدها الأقصى قبل العام 2015؛ وأنه لا بد بعد ذلك من العمل على تقليصها سريعاً حتى 50 % كحدٍ أدنى قبل العام 2050. لإعطاء فكرة عن الجهد المطلوب، ينبغي أن نتذكر أن قسمة الانبعاثات التي يصدرها بلد معين على عدد يراوح بين أربعة وستة مع حلول العام 2050 (والذي يشكل هدف دول منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية)، يعني تخفيضها بما يقارب 5 % سنوياً على مدى العقود الخمسة المقبلة. وهذا يعني تحقيق نسبة تخفيض سنوي تفوق النسبة – الهدف لبروتوكول كيوتو... وذلك لمدة اثني عشر عاماً.

بروتوكول كيوتو

يفرض هذا البروتوكول الذي تم توقيعه في العام 1997، على البلدان
المتقدمة الموقعة، تخفيض انبعاثاتها بنسبة 5 % في الفترة الممتدة بين
عامي 1990 و2010. خطوة خجولة، لكن مهمة على الطريق الصحيح.

بدايات تعود إلى العام 1992

إن بروتوكول كيوتو هو المعاهدة الدولية الوحيدة الملزمة ذات الصلة بمشكلة المناخ، وتعود فكرته الأولى إلى مؤتمر قمة الأرض الذي عقد في ريو دي جانيرو في حزيران/ يونيو من العام 1992. جرى في هذا المؤتمر إطلاق اتفاق الأمم المتحدة الإطاري بشأن تغير المناخ، ويحدد نص هذا الاتفاق هدفاً يرمي إلى «ضمان استقرار تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى يحول دون إلحاق ضرر خطير بالنظام المناخي». وقد وقّعت مختلف دول العالم بما في ذلك الولايات المتحدة على هذا الاتفاق.

هدف مبدئي طموح

في الواقع، لا يزال هذا الهدف بعيداً عن متناول أيدينا؛ فتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد بلغت منذ زمن طويل مستوى لا يمكن لأحد أن يؤكد أنه ليس خطيراً. ومع ذلك، يفرح المرء حين يرى أن هذا الطموح يشكل هدف اتفاق يحظى بقبول واسع، ما يشير على الأقل إلى وجود توافق في الآراء في ما بين دول العالم حول مخاطر ظاهرة الاحتباس الحراري، والحاجة إلى التحرك لحماية الإنسان. ولتنظيم العمل، أشار مؤتمر قمة الأرض إلى عقد مؤتمرات دورية تجمع ممثلين عن الدول الموقعة. من ضمن هذه المؤتمرات نذكر ذلك الذي عُقد في كانون الأول/ ديسمبر 1997 في كيوتو، والذي انبثق عنه بروتوكول يحمل الاسم عَينه. لم تدخل هذه المعاهدة، التي تتضمن أهدافاً وجدولاً زمنياً، حيز التنفيذ إلا في شباط/ فبراير من العام 2005، بعد توقيع روسيا عليها ببضعة أشهر. إلا أن الولايات المتحدة لم توقع بعد على هذا البروتوكول، ما يضعها في موقف غريب؛ إذ إنها توافق على أهداف عام 1992... في حين ترفض التدابير الملموسة المتخذة لتحقيق هذه الأهداف.

تقدم تافه؟

يرمي هذا البروتوكول إلى الحد من الانبعاثات العالمية قبل الفترة الممتدة بين 2008 و2012، بنسبة لا تقل عن 5 %، بالمقارنة مع مستويات عام 1990. لا ينطبق هذا الشرط في الواقع إلا على البلدان الصناعية ودول المجموعة الشرقية السابقة (في حين تبقى الدول الأخرى حرة بإصدار ما تشاء من انبعاثات). من الواضح أن أهداف كيوتو هي أقل بكثير مما هو مطلوب ليجد الإنسان نفسه بمأمن من مخاطر المناخ: فالموضوع لا يتوقف عند الحد من الانبعاثات بنسبة 5 % على مدى 20 عاماً، ولكن بتخفيضها بمعدل النصف في أقرب وقت ممكن! إلا أن

قدمت ثماني ولايات أمريكية دعوى بسبب التلوث (في الصورة: مرافعة المحامي العام) ضد الشركات الخمسة الأكثر إصداراً للانبعاثات في البلاد، والتي تعمل في مجال إنتاج الكهرباء عن طريق الوقود.

المسلسل الدبلوماسي الذي لا ينتهي حول التصديق عليه، على الرغم من هذا الطابع الملزم بعض الشيء، لا يشكل علامةً جيدة مطلقاً. الأسوأ من ذلك، أنه مع اقترابنا من فترة انتهاء التزامات كيوتو، يبدو واضحاً أن الدول الموقعة لن تحقق أهداف البروتوكول. مع ذلك، يمكن القول إن هذا البروتوكول قد ساهم في توعية العالم حول تحديات التغير المناخي، ويمكننا كذلك أن نأمل في أن يشكل نقطة انطلاق لتحول عام في الاقتصاد العالمي.

ما بعد كيوتو

من الضروري الآن أن تتخذ الولايات المتحدة المكانة التي ينبغي عليها اتخاذها في مكافحة ظاهرة الاحتباس الحراري: المكانة الأولى. فكيف عساناً نطلب تضحيات من الدول الفقيرة إذا كانت الدول الغنية ترفض تقديمها؟ بالإضافة إلى ذلك، تُعد الولايات المتحدة الدولة التي تصدر أكبر كمية من الانبعاثات، وأعظم قوة علمية وتكنولوجية على هذا الكوكب، ومن دون مشاركتها في عملية الحد من الانبعاثات فمن المستبعد نجاح هذه العملية. علاوة على ذلك، لا بد من أن نأخذ في الاعتبار أن الدول النامية التي تصدر 40 % من الانبعاثات العالمية، ستتخطى المستويات التي سجلتها الدول الغنية مع حلول العام 2025. تعي هذه البلدان عموماً الحاجة إلى حماية البيئة، إلا أن أمامها تحدي الخروج من التخلف الذي يعيش فيه ملايين من مواطنيها. في حال لم تتصرف الدول الغنية – التي يتخطى الدخل الفردي فيها عشرة أضعاف الدخل الفردي في الدول الفقيرة – بشكل يحتذى به، فإن الدول الفقيرة لن تقبل أن تبذل الجهد المطلوب منها.

الطاقات المتجددة

توفر هذه الطاقات مجموعة متنوعة من الحلول. إلا أنها لسوء الحظ، تعاني قيوداً عديدة تمنعها من أن تحل محل النفط والغاز.

الشمس كأساس

تتوفر أنواع عديدة من الطاقة المتجددة القادرة على تلبية احتياجاتنا، لأن مخزونها يتجدد بشكل طبيعي. تعد الشمس المزود الرئيسي: فأشعتها تولد الرياح والتيارات المائية في المحيطات، وتساهم في نمو الكتلة الحيوية، وتغذي بحيرات السدود من خلال مياه الأمطار. يُستثنى من ذلك الطاقة الحرارية الأرضية، التي تجمع الحرارة المستمدة من نواة كوكبنا، إلا أن استخدامها على نطاق واسع لا يزال متموضعاً جداً. تفوق الأشعة التي تتلقاها الأرض الطاقة التي يستهلكها الإنسان بحوالي 10،000 مرة. لذلك، يمكن مع الاستعانة ببعض الإبداع، الاستحواذ على حصة كافية لتلبية احتياجاتنا، من دون أن يتسبب ذلك بأية مشاكل. لسوء الحظ، تكثر القيود التي تحيط بالطاقة المتجددة (التوافر المحدود، وجود متقطع، كثافة منخفضة للطاقة، ضرورة الحصول مسبقاً على كميات كبيرة من الوقود الأحفوري...). لم تمثل مختلف أنواع الطاقات إلا 17.7 % فقط من استهلاك كوكب الأرض في العام 1990، وتشير التوقعات إلى أن هذا الاستهلاك قد يصل إلى 27 % في العام 2020. ومرة أخرى، تبقى هذه الأرقام مبالغاً فيها إلى حد ما، لأنها تغطي أيضاً الحطب (حوالى 10 %)، الذي لا يمكن اعتباره طاقة متجددة إلا عندما تتم زراعة أشجار جديدة لتعويض تلك التي تم قطعها، وهو أمر يندر أن نراه في دول الجنوب. إذاً لا وجود لمصدر طاقة معجزة؛ إلا أن ذلك لا يمنع وجود مجموعة من الحلول الجزئية التي لا يمكن تقديرها بثمن استناداً إلى الحالة، وتحديداً (من دون أن يكون الأمر محصوراً بذلك) لجهة تزويد السكان البعيدين عن شبكات الطاقة الكبرى.

سكان الريف في دول الجنوب

يقدر السكان الذين لا يستفيدون سوى من كتلة حيوية (غالباً ما تكون مستمدة من الغابات) لأغراض التدفئة والطهي بحوالي ملياري شخص. في الواقع، تتعدد النظم التي يمكن تقديمها إلى هذه الفئة من الناس، ومنها المواقد البسيطة، للحد من هدر الطاقة المستعملة لطهي الطعام على نار مفتوحة (5 % من السعرات الحرارية تصل إلى الطعام). علاوة على ذلك، سيتم تطوير نظم أفران تعتمد على المرايا التي تتيح إمكانية الطهي على الطاقة الشمسية، لتوفير مياه الشرب أو لتشغيل التوربينات لتوليد الكهرباء. إن تعميم مثل هذه الأنظمة يساهم في الحد من قطع أشجار الغابات، الذي يتسبب بإصدار كميات كبيرة من غازات الدفيئة.

السدود

تحتل الطاقة الكهرمائية، مع 5.3 %، المكانة الثانية مباشرةً بعد الحطب، ويبدو إمكان تطويرها غير محدود؛ إذ تتطلب في الواقع وجود منحدرات وهطول أمطار كثيرة.

وتشير التقديرات إلى أنه في الإمكان مضاعفة القدرة الحالية في العالم بحوالى أربع مرات، لا سيما في البلدان

تلائم الطاقة الشمسية بصورة خاصة ظروف المناطق القاحلة والفقيرة: تسهل هذه الألواح، التي أنشِئت بتمويل من منظمة غير حكومية إسبانية، عملية ري بساتين في موريتانيا.

النامية والاتحاد السوفياتي السابق (علماً أن البلدان الصناعية جهزت المواقع الأكثر ملاءمة).

لكن بناء السدود لا يخلو من السلبيات: المخاطر التكنولوجية، الأثر البيئي والاجتماعي، الأمراض الطفيلية، وترسب الطمي... لذلك يتوجب علينا أخذ هذه العوامل جميعها في الاعتبار بعناية ومسبقاً، بشكل يتيح أن نوازن بين الإيجابيات والسلبيات.

طاقة الرياح

تطرح طاقة الرياح، على الرغم من وفرتها، مشاكل عملية كبيرة. فمظهرها من الناحية الجمالية، الذي لا يوليه البعض أية أهمية على الإطلاق، يقلل في الواقع من قبول هذه التقنية على الصعيد الاجتماعي، ويفرض على الأرجح نمواً ملحوظاً للإنشاءات المولدة لها بشكل معزول في مياه البحر.

بالإضافة إلى ذلك، تعد طاقة الرياح متطلبة جداً في ما يتعلق بالمساحة: في أوروبا الغربية، يصعب توقع أكثر من 20 جيغاواط/ساعة لكل كيلومتر مربع، ذلك أنه يفترض أن تحتل الآلات مساحات كبيرة من الأراضي لتساهم بشكل فعال في توفير الطاقة. إلا أن المشكلة الرئيسة تكمن في عدم انتظام هذا المصدر، الذي لا يمكن

معجم

طاقة شمسية حرارية: تلك التي تنتج مباشرة الماء الساخن، لكن لا بد من التمييز بينها وبين الطاقة الشمسية التي تولد الكهرباء.

تشكل طاقة المد والجزر، والتيارات المائية بشكل عام، مصدراً عملياً لم يتم استثماره بعد. وتجري حالياً دراسة لأنظمة توربينات راسية في قعر المحيطات.

استعماله إلا عندما يترافق مع جهاز تخزين مكلف جداً، أو مع مصدر طاقة مكمل لتوفير ما يلزم المستهلك من طاقة في أيام الشح.

إلا أن هذا المصدر يبقى عموماً محطة حرارية! ذلك أن الدولة الرائدة في العالم في مجال طاقة الرياح، أي الدنمارك، هي أيضاً إحدى أكبر الدول المتسببة بإصدار غازات الدفيئة...

الطاقة الشمسية

تتمتع الطاقة الشمسية بإمكانية النمو، ربما أكثر من كل الطاقات المتجددة، إلا أن سعر الوقود الأحفوري المنخفض أعاق تطورها، فلم تبلغ في العام 1990 أكثر من 0.1 % فقط من

فكرة جيدة كاذبة عن الوقود الحيوي

عادت فكرة صنع وقود للسيارات من النباتات مؤخراً لتحتل مكانها على الساحة العالمية. لكن اتضح أن هذا الحل يولد مشاكل أكثر مما يحل. في الواقع، يبدو أن الوقود الحيوي الحالي يصدر بشكل غير مباشر، كميات من ثاني أكسيد الكربون، تعادل (إن لم تكن تفوق) تلك التي تصدرها المنتجات النفطية التي ترمي إلى استبدالها (المعالجة الصناعية، واستخدام الأسمدة، وإزالة الغابات). الأسوأ من ذلك، تحفز أنواع الوقود هذه ارتفاع أسعار الغذاء العالمية، ما يزيد من مأساة الفقراء في العالم.

تعد رقائق الخشب مصدر طاقة متجددة وعملية، لا سيما في البلدان التي تحتوي غابات واسعة. يغذي هذا الموقد الدنماركي 180 منزلاً.

إجمالي الاستهلاك العالمي! مع ذلك، يسهل استغلال الطاقة الشمسية الحرارية، إذ إن مساحة سوداء من شأنها أن تمتص 1 كيلو واط في المتر المربع الواحد حين تكون معرضة بشكل جيد للشمس. عند تغطية المدن بألواح شمسية، يمكن من حيث المبدأ توليد كمية من الطاقة تعادل تلك التي يستهلكها بلد صناعي. مع ذلك، يتطلب إنتاج الكهرباء بالطاقة الشمسية، إذا كان ممكناً، طاقة كبيرة لإنتاج الألواح، التي لا تحقق أي ربحية إلا بعد سبع سنوات (و14 سنة إذا كانت مزودة ببطارية!).

الكتلة الحيوية

علاوةً على ذلك، يمكن الاستفادة من الكتلة الحيوية التي تشمل الخشب، إلا أنه في الإمكان أيضاً جمع الطاقة من مخلفات مختلف أنواع المحاصيل، وكذلك من الرواسب أو النفايات المجففة الناتجة عن بعض العمليات الصناعية.

يمكن استرداد هذه الطاقة عن طريق الحرق المباشر، أو عن طريق تخمير المواد التي تصدر غاز الميثان، المستعمل لاحقاً لأغراض أخرى. ولكن لا بد من أن نأخذ في الاعتبار أن فعالية عملية التمثيل الضوئي تبقى ضئيلة؛ إذ لا يتم تخزين سوى جزء صغير من الطاقة الشمسية كيميائياً بواسطة النباتات. لذلك، لا بد من استثمار مساحات كبيرة لتوفير كميات كبيرة من الطاقة. يشار إلى أن هذا الأمر قد يولد على كوكبنا، الذي يزداد عدد سكانه يوماً بعد يوم، صراعاً حول أفضلية الاستخدام بينه وبين الزراعة.

إزالة السموم الصادرة عن وسائل النقل

يمكن تخفيض انبعاثات النقل عن طريق عدة استراتيجيات، إلا أن الأمر يتطلب كذلك عدم الإفراط في التنقل.

نقل مشترك لا غنى عنه

تشكل السيارة الخاصة، لا سيما في المدن، وسيلة النقل الأكثر استعمالاً والأكثر إصداراً للانبعاثات. إلا أن سكان الأرض باتوا حضريين أكثر فأكثر (في العام 2007 بات فرد واحد من أصل اثنين يعيش في المدينة)، ما أدى إلى زيادة عدد المدن الكبيرة والممتدة والمزدحمة. وإذا ما أضفنا واقع أن الأسطول العالمي يتنامى بشكل مستمر، فستتوفر لدينا عندئذ كل المقومات الكفيلة بإحداث تغيير كارثي. من هنا لا بد من تطوير شبكة نقل عالمية كبيرة ومريحة ورخيصة لتجذب الناس. في الحقيقة، لا بد من توقع هذه المسائل جميعها والتفكير فيها؛ فعند تسخير استثمارات ضخمة لتنفيذ وسيلة نقل ما، سيصبح التخلي عن المشروع أمراً صعباً. إلا أننا نلاحظ اليوم أن شبكة الطرق تنمو بشكل أسرع من شبكة السكك الحديدية، في حين يتم بناء مطارات جديدة باستمرار، حتى في البلدان التي تدعي مكافحة ظاهرة الاحتباس الحراري! في الواقع، يبدو هذا النمو أمراً مقلقاً جداً لأنه سيلازم الإنسان على مدى عقود...

الهيدروجين والوقود الحيوي

لكن ألا يمكننا استعمال وقود «أخضر» بدلاً من الهيدروكربون؟ لا يزال الهيدروجين، الذي غالباً ما يشار إليه على أنه وقود المستقبل، بعيداً جداً من أن يركّز ويُحوَّل إلى مصدر للطاقة أكثر من النفط. في الواقع لا بد من ضغطه بقوة لتشغيل السيارة بشكل مُرض نوعاً ما، وهذا الأمر يستهلك الكثير من الطاقة. علاوةً على ذلك، لا بد من تصنيع الهيدروجين، إذ لا وجود له في الحالة الطبيعية، ما يتطلب كميات كبيرة من الطاقة، التي غالباً ما تكون أحفورية.
أما بالنسبة إلى أنواع الوقود الحيوي المستخرجة من النبات، فإنها لا يمكن أن تشكل حلاً مثالياً. كما أن عملية التمثيل الضوئي لا تحول ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية إلا بكفاءة منخفضة. ما إن يتم حصد النباتات (اللفت والقمح والشمندر وقصب السكر...) وطحنها، يصار إلى استخلاص المنتج من المحصول وتنقيته. إلا أن هذه الخطوات جميعها تولد خسائر في المحصول، وتستهلك كميات كبيرة من الطاقة التي غالباً ما تكون نفطاً؛ فمرة أخرى، لا يجب أن ننسى أن هذه النباتات هي نتيجة زراعة صناعية تتطلب كميات ضخمة من الأسمدة والمبيدات الحشرية، ناهيك عن الوقود الضروري لتشغيل

معجم

هيدروكربون: جزيء يتألف فقط من الكربون والهيدروجين، وغني جداً بالطاقة.

الجرارات والحصادات. باختصار، يستدعي تشغيل وسائل النقل الحالية ضعف المساحات المزروعة حالياً في العالم وفقاً لبعض الحسابات.

تنظيم الحد من تنقلات البشر

في الواقع، يبدو من غير المرجح، سواء أكنا نعاني أزمة المناخ أم لا، أن يستمر مستوى تنقل الإنسان العالي لأنه سيتعطل حتماً – عاجلاً أم آجلاً – جراء استنزاف احتياطي النفط، في حال لم يتم اتخاذ تدابير سياسية في هذا الشأن.
في نهاية المطاف، من المرجح أن تصبح تنقلات البشر أقل، أو على الأقل أبطأ، وأن يُخصص الوقود في المقام الأول لخدمات الطوارئ نظراً إلى ارتفاع ثمنه. لكن هناك التحدي المناخي، إذ من الضروري توقع هذا التطور وتنظيمه، لتجنب حرق النفط المتاح في وقت قصير جداً. ولو مدّدنا عن طريق الصدفة منحنيات استهلاك الوقود الحالي، لحصلنا على نسب كربون في الغلاف الجوي تفوق النسبة العادية بأربع مرات...

بالكاد تتم اليوم صياغة تحويل أنظمة النقل إلى تقنيات تصدر كميات أقل من ثاني أكسيد الكربون، علماً أن هذه الصياغة باتت تشكل أولوية ملحة (في الصورة: تراموای ودراجة هوائية في لايبزيغ، ألمانيا).

دفن ثاني أكسيد الكربون

نشط بعض الجهات في إجراء بحوث حول إمكان تخزين ثاني أكسيد الكربون، لمنع ارتفاع درجة حرارة الأرض. حل جزئي قد تتعدد مزاياه وتتنوع.

بعض مصادر الانبعاثات الكبرى

إذا كان التقاط ثاني أكسيد الكربون فور انبعاثه أمراً مستحيلاً، فإن العلماء يعملون منذ فترة طويلة على استحداث تقنيات مختلفة، تتيح لهم منعه من الوصول إلى الغلاف الجوي.
لا شك في أن الانبعاثات الصادرة من المركبات ذات المحركات، أو من الصناعات الصغيرة، منتشرة جداً بحيث لا يمكن التقاطها. إلا أن حوالي نصف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم متموضعة جداً، ونعني بها انبعاثات المصادر الباعثة الضخمة، مثل مصافي النفط، ومحطات الطاقة، ومعامل الإسمنت، وبعض الصناعات المحددة.
من حيث المبدأ، لا يوجد أي سبب يمنع التقاط ثاني أكسيد الكربون المنبعث من هذه المرافق، وربما فصله عن منتجات الاحتراق الأخرى، ومن ثم توجيهه إلى موقع التخزين.

تحت الأرض أو في أعماق البحر؟

ما هو المكان الأنسب للتخزين؟ يعمل العلماء حالياً على دراسة واستطلاع طريقتين للتخزين. تتمثل الأولى في حقن ثاني أكسيد الكربون في طبقات جيولوجية محكمة العزل، حيث سيبقى في شكل دائم. وبالتالي، يتجه التفكير إلى استعمال حقول الغاز الطبيعي أو النفط التي قرب استنفادها (يمكن أن يساعد ثاني أكسيد الكربون على «طرد» النفط أو الغاز من الأعماق ما يسهل استخراجه)، وطبقات الملح، وطبقات المياه الجوفية، إلخ. ولا بد من الإشارة إلى توفر بعض المناطق كالولايات المتحدة وبحر الشمال بشكل خاص، حيث يتم تجربة هذه الطريقة.
أما الطريقة الثانية فتتمثل في تخزين ثاني أكسيد الكربون في أعماق المحيطات. وما يدعم هذه الفكرة حقيقة أنه بعد بضعة قرون، سيذوب أكثر من 80 % من الكربون المنبعث في الهواء في مياه المحيطات. بالإضافة إلى ذلك، يُعد المحيط خزاناً أكبر بكثير من الغلاف الجوي؛ حيث إن رمي كميات من ثاني أكسيد الكربون في قعره تفوق تلك الموجودة حالياً في الجو، لن يغير من تركيبته إلا بنسبة 2 %.
أخيراً، يقدر العلماء أنه من خلال تخزين ثاني أكسيد الكربون في الأعماق السحيقة للمحيط، فإنه سيبقى هناك لأنه أكثر كثافة من مياه البحر: ففي المستويات التي تتجاوز 3000 متر، تشير النماذج المناخية إلى أن 2 % فقط من حجم ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يعود إلى الجو. مع ذلك، يصطدم هذا الاحتمال باعتبارات بيئية؛ إذ لا نعرف كيف يتفاعل المحيط مع عملية مماثلة ستتحول المياه معها

معجم

معمل حراري: محطة لتوليد الكهرباء تعتمد على الوقود الأحفوري (النفط على سبيل المثال)، لإنتاج بخار الماء الذي يشغل توربينات المولدات.

تمتص محيطات العالم نسبة كبيرة من ثاني أكسيد الكربون المنبعث من الأنشطة البشرية. إلا أنه من المرجح أن تضعف قدرتها على القيام بذلك في المستقبل، وذلك بسبب ارتفاع درجة حرارتها.

إلى حمضية، بصورة موضعية على الأقل. ويساور شك كبير البعض حول طبيعة نظم أعماق البحار الإيكولوجية، وذلك لكونها نظماً هشة.

التكلفة

يتشارك خيارا التخزين، القاري والمحيطي، في نقطة واحدة، ألا وهي التكلفة المرتفعة التي تصل إلى 300 دولار لطن ثاني أكسيد الكربون، وذلك وفقاً للسلطات الأمريكية (والتي تهدف إلى خفض هذه التكلفة إلى أقل من 10 دولارات للطن...). فما إن يتم التقاط ثاني أكسيد الكربون وضغطه، لن يتبقى إلا إرساله إلى مكان التخزين المناسب، الذي غالباً ما يكون بعيداً جداً (خصوصاً إذا ما تعلق الأمر بالأعماق المحيطية!)، ومن ثم حقنه.

ويقدر أن تكلفة الكهرباء التي يتم إنتاجها عن طريق الفحم (أحد التطبيقات الرئيسية لهذا النوع من التقنيات)، ستشهد ارتفاعاً بمقدار الثلث إذا ما أضيف إليها سعر التخزين. ويبقى أنه ما إن يتم حل العقبات التقنية، سنشهد مساراً لا يمكن تجاهله في مجال خفض الانبعاثات، على الأقل عند الخروج من هذه المرحلة التجريبية. للأسف، يتفق معظم الخبراء على الاعتقاد أنه حتى عند حل المشاكل جميعها، يتعين علينا أن ننتظر 20 عاماً قبل أن تبدأ هذه التقنيات بالخروج من حدود التهميش.

التكنولوجيا وأسلوب الحياة

يمكن أن تكون التكنولوجيا أداة فعالة لمواجهة ظاهرة الاحتباس الحراري، ولا بد من أن تستفيد منها البلدان الفقيرة. إلا أن التكنولوجيا وحدها لا يسعها أن تقوم بكل شيء، لذلك لا بد من تخفيض الاستهلاك.

تحسين إنتاج الطاقة

تتوفر مجالات تقنية متنوعة لتوفير الطاقة، وبالتالي للحد من الانبعاثات. في البداية، وكما ذكرنا سابقاً، لا بد من أن نتحول إلى استعمال المصادر الأقل إصداراً للانبعاثات. وحتى في ما يتعلق بمشتقات الوقود الأحفوري، يمكننا أن نستبدل الفحم بالغاز الطبيعي الذي يصدر كميات من الانبعاثات تعادل نصف ما يصدره الفحم تقريباً.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحسين كفاءة إنتاج الطاقة؛ إذ تتوفر، على سبيل المثال، نظم استرجاع الحرارة (توليد الطاقة المشترك) التي تزيد كفاءة المحطات بشكل ملحوظ. مع ذلك، ثمة حدود لهذا النهج؛ فالفحم هو الوقود الأحفوري الوحيد الذي لا يزال متوفراً بكثرة والموزع بشكل جيد على هذا الكوكب (إذ يمكن للبلدان الناشئة مثل الصين والهند أن تولد بالفحم الذي تملكه حوالي 75 % من حاجتها إلى الكهرباء!). إلا أن التقنيات الأكثر حداثة، لا تفسح أمامنا المجال لنتأمل بالحصول على مكاسب تزيد عن 20 % في ما يتعلق بالانبعاثات، من دون أن ننسى طبعاً تكلفتها الاستثمارية الباهظة.

إعادة التدوير

تقدم عملية إعادة التدوير إمكانات كبيرة لتوفير الطاقة. في الواقع، تمتص صناعة المواد الأساسية 80 % من الطاقة المستخدمة لتصنيع المنتجات، علماً أن تنسيقها النهائي (سواء أكانت إطار نافذة أم علبة مشروب غازي) لا يتطلب إلا 20 %. من هنا لا بد من توفير الطاقة في ما يتعلق بصناعة المواد الأساسية؛ فالصلب المستخرج من المعدن الخام يصدر 870 كيلوغراماً من الكربون لكل طن، مقابل 300 كيلوغرام فقط للصلب المعاد تدويره.

أما في ما يتعلق بالألمينيوم، فيرتفع هذا الرقم بشكل مثير للعجب، إذ يقدر بـ670 كلغ للطن عند إعادة تدويره، مقابل 3000 كلغ حين يكون مستخرجاً من المعدن الخام.

الاندماج النووي

يكمن أحد أكبر التحديات التكنولوجية التي تواجه الإنسان، في عملية الدمج التي تشكل التفاعل النووي الذي يحدث في الشمس، ويجعل الحياة ممكنة على الأرض. لا تولد هذه العملية، التي تصدر كميات هائلة من الطاقة، النفايات المشعة، ولا تتطلب كمادة أساسية إلا الهيدروجين المتوفر بكثرة في كوكبنا. وهكذا يكون استغلاله خبراً سارّاً للبشرية.

للأسف، لا يعد العلماء بتحقيق هذا الأمر قبل 50 عاما... ولا يخفى أنهم اعتمدوا هذا الأسلوب المتفائل للقول إنهم يجهلون في الحقيقة إن كان الأمر ممكنا في يوم من الأيام.

يمكن للتكنولوجيا أن تساعد على توفير الطاقة في بعض الأحيان، كما هو مبين في هذه النماذج المشاركة في ماراثون بيئي، والتي في إمكانها أن تقطع آلاف الكيلومترات بلتر واحد من البنزين (بلغ الرقم القياسي العالمي الأخير 3836 كم وقد سجل في أيار/ مايو 2005!).

تعميم تقنيات نظيفة

بوجه عام، يمكن تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المجالات كافةً تقريباً. وقد تم تحقيق نتائج واعدة جداً في ما يتعلق بالمحركات.
تصدر الطائرات الحالية في الكيلومتر لكل مسافر انبعاثات أقل بنسبة 70 % من الطائرات النظيرة التي درج استعمالها قبل 40 عاماً. وتسجل السيارات أيضاً أرقاماً أكثر واقعية. يستمر هذا التقدم، وإن كان بسرعة أقل، نظراً لإعطاء الأولوية لتنفيذ التحسينات الأسهل، حيث يتجه التفكير تحديداً إلى مواد أخف وزناً من شأنها أن تقلل من وزن السيارة.
تتطور الأمور في الاتجاه عينه في ما يتعلق بالسكن، حيث حقق العزل التقني، والإضاءة، وكفاءة أجهزة التدفئة وتصميم المباني الحراري تقدماً هائلاً. كذلك يعتقد الخبراء أنه في حال تم تعميم التقنيات الأكثر توفيراً في مختلف مجالات الحياة الاجتماعية، يمكننا خفض الانبعاثات بمقدار النصف، مع الحفاظ على مستوى الخدمة عينه، ومن دون تغيير نمط الاستهلاك.
لا يُعد تعميم مماثل أمراً سهلاً، ولا يمكن تصوره في فترة تقل عن 20 عاماً: إذ يتطلب الأمر، على سبيل المثال، تجديد الكثير من المساكن من خلال إنشائها بشكل يحترم المعايير، وينطبق الأمر أيضاً على قسم كبير من أسطول المركبات في العالم، من دون أن ننسى طبعاً المنشآت الصناعية.
إن إمكانية تحقيق إجراء كهذا ستكون بتكلفة استثمارية مرتفعة جداً لا يمكن الاقتصاد فيها

لأنها ضرورية، وسيضطر المواطنون في نهاية المطاف إلى تحمل هذه التكلفة.

تحسينات مكلفة

يستحق هذا التقييم المتفائل نسبياً التوقف عنده بشكل جدي. في البداية، من غير المرجح أن تنفذ مختلف الجهات الفاعلة التَقنيات التي تصدر كميات أقل من الانبعاثات، بشكل عفوي. من وجهة نظر مالك عقار بسيطة، يرفع تحسين نظام العزل من سعر منزله بشكل ملحوظ. لا شك في أنه سيتم تعويض جزء من التكاليف الزائدة، في حال تم اعتماد نمط يفرض استهلاك كميات أقل من الطاقة. إلا أنه لم تثبت فائدة هذه العملية على الصعيد التجاري (إذ يعتمد الأمر على أسعار الطاقة)، حتى وإن كانت مفيدة على الصعيد المناخي.

في النهاية، يساعد شراء سيارة صغيرة بمحرك ذي عدد اسطوانات قليل على توفير الوقود... لكن هذا لا يمنع الاستمرار في بيع السيارات الكبيرة!

من وجهة نظر صناعية، تبقى المشكلة على ما هي عليه: يفرض الحد من الانبعاثات في الغالب إنتاجاً بتكلفة إضافية. وفي سياق منافسة واسعة وعالمية، لا ترى الشركات مصلحة لها في ذلك. فإذا كانت التقنية تعد بالكثير، يبقى في الوقت الراهن معظم هذه التحسينات مجرد حبر على ورق ...

بالإضافة إلى ذلك، وعلى الرغم من أن نجاحات تكنولوجية كبيرة لا تزال ممكنة، إلا أن الأمر ليس مفتوحاً إلى ما لا نهاية. في الواقع، لا تلغي التكنولوجيا القيود الفيزيائية. وبالتالي، فإن تحريك وزن معين مَن نقطة إلى أخرى (مثلاً، سيارة يستقلها أربعة أشخاص)، يتطلب حداً أدنى من الطاقة. يمكننا السعي لبلوغ هذه الطاقة الدنيا، لكن لا يمكننا أن نصل إلى مستوى أدنى منها!

المزيد من التكنولوجيا... لكن استهلاك أقل!

يمكن أن تقلل التكنولوجيا من الانبعاثات الصادرة عن نشاطنا إلى حد كبير، شرط أن نتمكن من السيطرة على استهلاكنا. إلا أن التكنولوجيا ترمي بشكل أساسي إلى زيادة الاستهلاك، وهذه هي الحقيقة المضمرة عند تشجيعنا على شراء «السيارات الخضراء»، والأجهزة الصديقة للبيئة وغيرها من المنتجات «المستدامة». ولا بد من أن نرحب بواقع أن السيارات الحالية تستطيع عبور مسافات

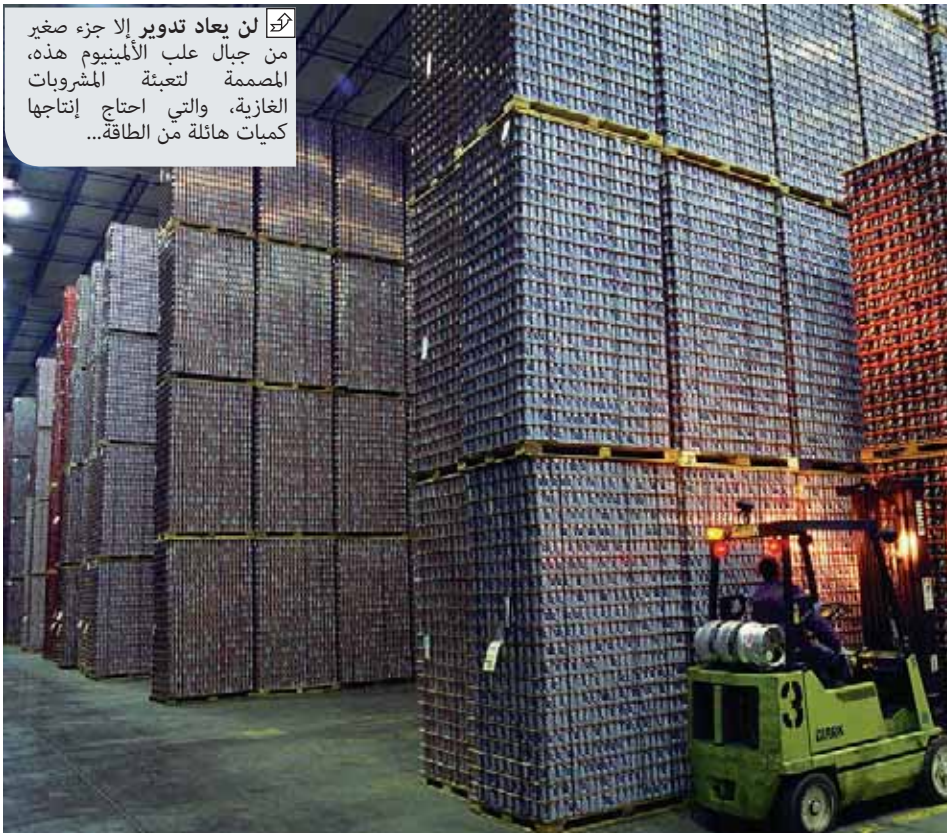
معجم

طاقة أحفورية: طاقة مستخرجة من المصادر العضوية المتوفرة في الطبقات الصخرية الرسوبية (فحم، نفط، غاز طبيعي...).

أطول بلتر واحد من الوقود، بالمقارنة مع ما كانت تعبره قبل نصف قرن، وبالتالي فهي تصدر كميات أقل من الانبعاثات.

ولكن مع تزايد عدد السيارات ليبلغ 15 مرة ما كانت عليه في السابق، لا تزال الانبعاثات تزداد بشكل متفجر، حتى مع السيارات «النظيفة»! والأمر سيان بالنسبة إلى مختلف أنشطتنا وأنماط الاستهلاك التي نتبع. في الواقع لا يجب أن نقع في الخطأ: فاستهلاك المنتجات المصنعة التي ازدادت عدداً وازدادت تعقيداً، يتطلب حتماً ودائماً المزيد من الطاقة، حتى وإن تم تحسين عمليات الإنتاج كافةً. لا شك في أن توفير الطاقة، الذي يعد أمراً ضرورياً للحد من الانبعاثات الصادرة عن نشاطنا اليومي، يستلزم استخدام أفضل أنواع التكنولوجيا في مختلف المجالات، ونشر الابتكار على نطاق واسع.

يتطلب الأمر أيضاً تحقيق الاستقرار على صعيد استهلاكنا الجامح للسلع والخدمات المادية، التي لم تتوقف عن النمو منذ عقود.



لن يعاد تدوير إلا جزء صغير من جبال علب الألمينيوم هذه، المصممة لتعبئة المشروبات الغازية، والتي احتاج إنتاجها كميات هائلة من الطاقة...

تغيير نمط الحياة

في ضوء ظاهرة الاحتباس الحراري، يتعين علينا أن نعيد النظر في أنشطتنا اليومية كافةً: فنمط حياة واقعي لا يعتبر أقل غنى من غيره، خصوصاً من الناحية الإنسانية.

تغيير نمط التغذية

يصدر كل عمل من الأعمال التي نقوم بها في حياتنا اليومية كمية من الانبعاثات. لذلك تتعدد التغييرات العملية التي يمكننا القيام بها، للتخفيف من المخاطر المناخية التي سيتكبدها أطفالنا. لنأخذ على سبيل المثال نظامنا الغذائي؛ إن اقتصارنا في الاستهلاك على المواد الغذائية المنتجة محلياً، والنباتات الموسمية، يقلص الانبعاثات إلى حد كبير: فتناول الفراولة في شهر شباط/ فبراير يعني بالضرورة أنها زرعت في بيوت بلاستيكية (حيث تمت تدفئتها على المازوت)، أو أنه تم نقلها بالطائرة من نصف الكرة الجنوبي. تصدر الزراعة العضوية انبعاثات أقل مما تصدره الزراعة التقليدية بنحو الثلث، فمن المستحسن بالتالي شراء المنتجات العضوية.

تُعد اللحوم مادة تصدر كميات كبيرة من الانبعاثات، طالما هناك حاجة إلى حبوب الزراعة الصناعية لعلف الحيوانات. لذلك، يمكننا أن نخفف كمية اللحوم في نظامنا الغذائي، وكذلك كمية الدهون الحيوانية (الزبدة، واللبن (الزبادي)، والجبن، إلخ...). بالإضافة إلى ذلك، يستحسن تفضيل لحوم الدواجن على لحوم البقر، لا سيما العجول التي تصدر كميات هائلة من الانبعاثات. أخيراً، لا ضرر البتة في الذهاب مشياً على الأقدام للتسوق من البقالة، بدلاً من قيادة السيارة إلى السوبر ماركت!

لا تزال كمية الطاقة المهدورة (التي تم تصويرها هنا بواسطة كاميراً مزودة بأشعة تحت الحمراء) في المنازل الجديدة كبيرة جداً، ويمكن خفضها من خلال التشدد في معايير البناء.

التوفير في المنزل

لا بد من أن نحرص في فصل الشتاء على استعمال نظم التدفئة بشكل أقل، فانخفاض الحرارة بمعدل درجة واحدة يخفف حوالي 7 % من الطاقة المستهلكة. بالإضافة إلى ذلك، لا بد من تجنب التدفئة (والماء الساخن) على الوقود الذي يصدر كمية كبيرة من الانبعاثات، وأن نجتهد في اعتماد

نظام فعّال يعمل على الطاقة الشمسية أو الحطب. غير ذلك، يتعين علينا أن نخفف تكلفة الإضاءة عبر استعمال مصابيح التوفير وعدم إنارة الغرف التي لا نوجد فيها، وأن نخفف أيضاً من استعمال الأجهزة الكهربائية (التلفزيون ونشافة الغسيل)... ولا بد من اعتماد نظام عزل حراري (الزجاج المزدوج، الصوف الزجاجي)، وبالطبع التخلي عن تكييف الهواء (مع الإشارة إلى أن إغلاق نوافذ الغرفة يساهم في انخفاض درجة حرارتها بمعدل 7 درجات مئوية في الصيف).

الحد من النقل والتسوق

للحد من الانبعاثات، يمكننا أيضاً التحايل في مسألة النقل؛ كأن نستقل وسائل النقل العام، ونعيش بالقرب من مراكز عملنا، أو نعمل من المنزل عبر الإنترنت إذا أمكن، أو نستقل القطار للذهاب في إجازة (أو أقله أن نمتنع عن استعمال الطائرة)، وأن نستفيد قدر الإمكان من الدراجة. غير ذلك، يفضل أن نستبعد أنواع الرياضة الآلية (موتوكروس، السيارات الرباعية الدفع، ركوب الزوارق ذات المحركات...). وأخيراً، لا بد من أن ندرك جميعنا التكلفة المناخية المرتفعة للتسوّق؛ لذلك ينبغي الامتناع عن شراء منتجات جديدة باستمرار، لا سيما تلك التي تصدر كميات كبيرة من الانبعاثات، كالمنتجات التي تحتوي على إلكترونيات، مع العلم أن الصناعات النسيجية أيضاً تستهلك كمية من الطاقة!

مصدر لا ينضب

شكلت المصادر الحية (الخشب، القطن، القنب، الصوف، الجلود، الكتان، المطاط والقش...) على مدى آلاف السنين، مادة أساسية للإنسان استعملها لتصنيع الأثاث، الأدوات، أواني المطبخ، أدوات العزل، لعب الأطفال والملابس... إلا أنه عمد لاحقاً إلى استبدالها بالبلاستيك. إلا أن عدداً كبيراً من الناس لا يزالون يعتبرون أن الخشب (إن أردنا أن نتكلم عنه فقط)، مادة عالية الجودة ويفضلون استعماله في عدد من الأمور الأساسية، بما في ذلك تشييد المباني. علاوة على ذلك، غالباً ما يُعد الخشب مادة أفخم من غيرها من المواد المنافسة (الخرسانة الإسمنتية والبلاستيك والمعادن التي تصدر جميعها كميات كبيرة من الانبعاثات). تظهر حاجة ملحة إلى توسيع نطاق استخدام النبات الذي لا يستهلك إلا كميات قليلة من الطاقة ويخزن الكربون، وترك البلاستيك والألمينيوم والصلب لصناعة المنتجات التكنولوجية التي لا يمكنها الاستغناء عن هذا النوع من المواد (أجهزة الكمبيوتر، المركبات، الآلات...). في الواقع، قد تسمح هذه التدابير بمواصلة تطوير قطاع الغابات، من خلال تشجيع استعمال «الوقود النظيف».

قواعد تسري على الجميع

مع ذلك، لا ينبغي أن نفترض أن مواجهة الاحتباس الحراري بطريقة جدية، تتوقف عند تقديم نصائح باعتماد أساليب ووسائل حميدة، كتلك التي سبق وأشرنا إليها أعلاه؛ إذ يستحيل الاعتماد على الوعي والنية الحسنة فقط لنغير من واقع الحال. عندما يتعلق الأمر بالحد من عدد الوفيات على الطرقات، لا ينبغي أن نكتفي بتقديم التوصيات بالقيادة بسرعة معقولة، بل يجب أن تضع الدولة حدوداً وتفرض تطبيقها بالقانون. ومن الواضح أن إصدار تشريع مناخي فعال يؤدي إلى فرض بعض القيود على حريّة كلٍ منا، طالما أن الأمر يستلزم جهداً جماعياً. ولكن ما هو البديل؟

يمكن للمواطن أن يوافق بإيجابية على الحد من عدد الرحلات التي يحق له القيام بها سنوياً،

معجم

عمل من المنزل: ممارسة شكل من أشكال العمل عن بعد، الذي ينجزه الموظف من منزله، ويستخدم من أجل هذه الغاية كمبيوتر وأدوات اتصالات سلكية ولاسلكية.

إذا علم أن الجميع ملتزم بذلك أيضاً. خلافاً لذلك، فإذا ما رأى جاره يجول الكوكب، فهو لن يكتفي بالسخرية من هذه الجهود، بل قد يعجز عن التمسك بها لفترة طويلة... بشكل عام، يبدو واضحاً أن التهاون الذي نشهده حالياً إزاء الضرر الذي يلحق بالبيئة، نتيجة النشاطات المختلفة في مختلف الميادين، بدءاً من إزالة الغابات وصولاً إلى تسرب النفط في مياه البحار، يشكل عقبة أمام أي تغيير عملي عميق. في الواقع، إن ما نشهده اليوم من تقاعس سلطات دول العالم كله تقريباً عن اعتماد إجراءات جدية وملزمة في هذا الإطار، وترك المواطنين أحراراً بالمساهمة في زيادة الاحترار، يولد انطباعاً بأن المشكلة لا تزال خارج نطاق الخطر الجسيم. فبعض الحوافز الضريبية لشراء الألواح الشمسية، أو مراجل تعمل على الخشب، لا تعد كافية للخروج من المأزق...

مجهود يعود إلى عدة أجيال

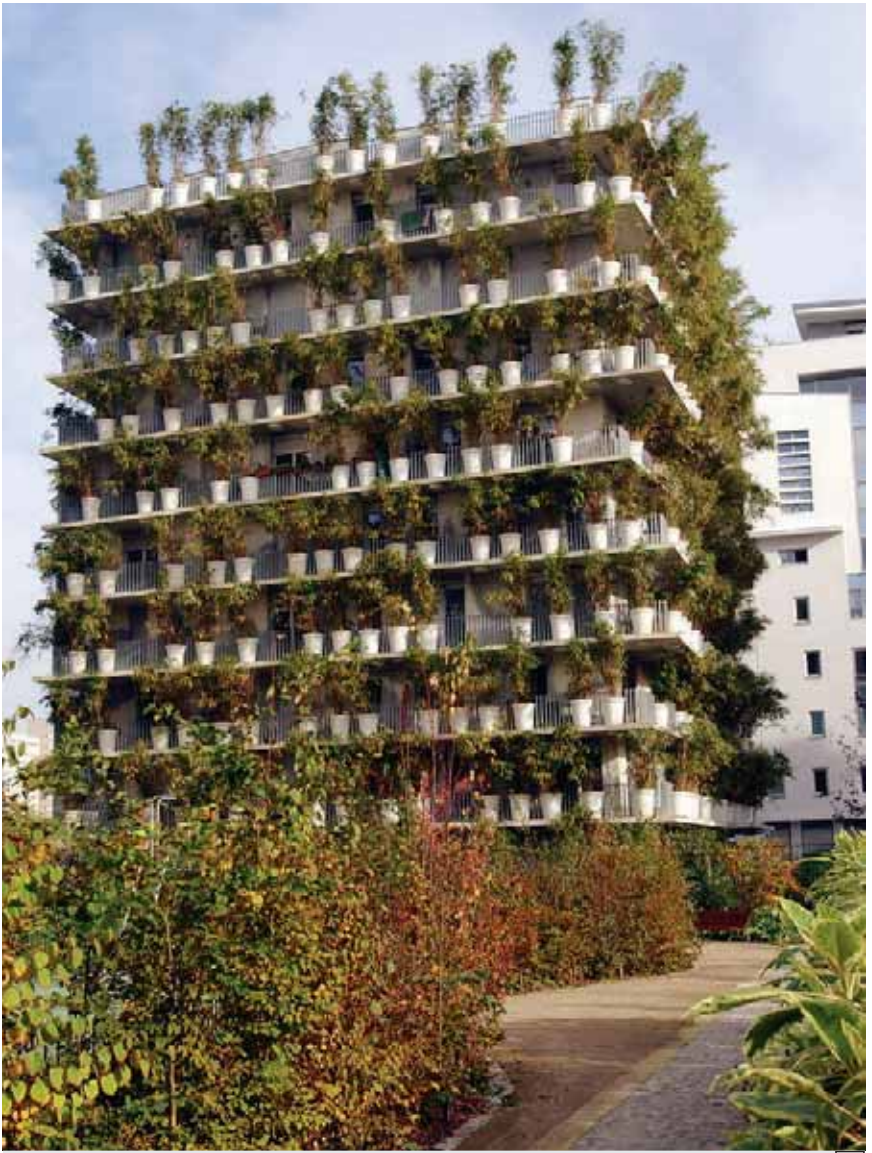
ينبغي أن تستمر لعقود طويلة الجهود المبذولة للحد من تأثير أنشطتنا الحياتية على المناخ، ومن الضغط الذي نمارسه على البيئة والنظم البيئية بشكل عام. فللحد من الخطر، يتعين علينا تخفيض كميات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى المستويات التي كانت سائدة قبل فورة الصناعة. بذلك، سنخضع حياتنا اليومية لتغييرات جمة وعميقة، بدءاً من المساكن الأصغر والجماعية (أكثر توفيرا لناحية المواد والتدفئة)، مروراً باختفاء مفهوم المنتج الذي يستعمل لمرة واحدة (المكلف جداً بيئياً)، وصولاً إلى اللجوء مجدداً إلى المواد المستدامة (الخشب) التي اختفت بفعل انتشار البلاستيك، وتوديع صناعة «التغليف».

فصل السعادة عن الأمور المادية...

هل هذا يعني أن المستقبل سيكون مملاً، بائساً، حزيناً ومليئاً بالهموم؟ على الإطلاق، إلا إذا أخذنا بعين الاعتبار أن المصدر الوحيد للسعادة هو حيازة الكثير من الأشياء.

يتطلب ضمان استقرار ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، العودة إلى استهلاك الطاقة وفقاً للنمط الذي ساد في السبعينيات؛ فنحن بعيدون جداً عن العصر الحجري! سنحظى دائماً بفرصة الاستمتاع بحياة اجتماعية غنية، والقيام بأعمال في المدينة، من مساعدة الجمعيات أو الأحزاب، ومن التواصل بفضل العديد من التقنيات الجديدة مع سكان كوكبنا جميعهم (من المسلم به أنه قد يصبح من غير الممكن تغيير الحاسوب كل ثلاث سنوات، لكن هل كان تغييره ضرورياً حقاً؟).

هذا الواقع، سيمنحنا فرصاً أكثر للتثقف، ارتياد المسارح، المشاركة في الحفلات، الذهاب إلى السينما، الاستماع إلى الموسيقى، مشاهدة الأفلام، ممارسة الرياضة والسفر، علماً أن السفر سيستدعي استعمال وسائل نقل أبطأ، وسيستلزم وقتاً أطول، على غرار ما كان عليه حال السفر قبل تحول المجتمع إبان عصر الصناعة. ستبقى الحياة مثيرة إذاً؛ ألا تعتقدون أن الرضا الناتج عن توريث عالم مستدام ذي مستقبل مضمون لأطفالنا، سيعوضنا عن فقدان جزء من حياتنا المترفة؟



تشهد تغطية المباني بالنباتات توسعاً سريعاً في كثير من البلدان، وهي طريقة طبيعية وغير مكلفة لتنقية الجو، تساعد على تفادي الضرر الناجم عن التكييف.

قيم جديدة لمجتمع جديد

برز مشروع اجتماعي جديد يتناول أزمة المناخ المستقبلية، يدعو إلى عالم مسؤول بيئياً وأكثر تعاوناً وعدلاً وديمقراطية.

أكثر ثراء... لكن ليس أكثر سعادة

صدر مؤخراً تقرير يتناول حالة الكوكب وقّع عليه معهد «وورلد واتش» جاء فيه: «إننا أكثر ثراء وأكثر قوة، إلا أننا لسنا أكثر سعادة». وأكد باحثو المعهد أن نسبة الأميركيين الذين قالوا إنهم سعداء لا تزال هي نفسها منذ العام 1957 (حوالي واحد من ثلاثة)، وذلك على الرغم من تضاعف متوسط الدخل، واتساع مساحة المنازل بنسبة 38 % على مدى السنوات الثلاثين الماضية، وكذلك حجم الثلاجات بنسبة 10 % (إلا أن السُّمنة باتت تشكل خطراً مدمراً!). ولقد تطور العالم الصناعي كله بشكل متواز مع الولايات المتحدة التي تستلم قيادة الدفة: استهلاك قهري، يرافقه عدم مساواة أكثر حدّة. في الواقع، نشارك جميعنا في تراجع التضامن والحس الجماعي لصالح الانسحاب نحو الذات؛ أو بمعنى آخر، نشارك في تصاعد الفردية التي تترك المرء وحيداً في مواجهة مجتمع بات أكثر عدائية.

مشروع اجتماعي جديد

لا تبتعد هذه الاعتبارات كثيراً كما نعتقد عن المشاكل المناخية. في الواقع، غالباً ما يتم الحديث عن مكافحة ظاهرة الاحتباس الحراري بشكل سلبي، وتُصوّر على أنها قائمة طويلة من التضحيات المكلفة الضرورية للهروب من مصير أسوأ. لكن الملاحظ هو أن نمط الحياة الذي يعتمده البشر حالياً يبتعد كثيراً عن المثالية، ويمكن أن يشكل تغييره جذرياً عملية مربحة جداً، ونوعاً من أنواع الجهد الجماعي المفيد لتحقيق الاستقرار المناخي. فمواجهة المخاطر المناخية، وتبني أسلوب حياة يتناسب مع الفرص التي يقدمها كوكب الأرض، لا يستلزم بعض التغييرات الهامشية فحسب، بل يحتاج إلى مشروع اجتماعي جديد يحمل قيماً مختلفة. مشروع يفضل المستقبل على الحاضر والأبناء على الأهل، مشروع قد يساعد على تلاحم أجزاء بشرية فقدت ثقتها بنفسها، وتعاني تمزقاً متزايداً، وذلك من خلال إرساء قيم ومُثل جديدة.

معجم

منظمة الأغذية والزراعة (FAO): وكالة متخصصة تابعة للأمم المتحدة، أنشئت في العام 1945 بهدف القيام بعمل دولي لمكافحة الجوع وتحسين الظروف المعيشية.

الثروة، شيء مثالي؟

باستثناء بعض الآراء حول المثاليات التي تؤسس هذا المشروع الاجتماعي – وهي آراء شخصية إلى حد ما – من الواضح أن ثقافة تحقيق الغنى والثروة لا تتوافق مع مجتمع مسؤول مناخياً. في الواقع، طالما أن هدف الحياة الاجتماعية يتجلى في تحقيق المزيد من الثروة، وبالتالي زيادة الاستهلاك، فإن التلوث والملوثين هم بالفعل الذين

يشير عدد من استطلاعات الرأي إلى أن المواطنين باتوا أكثر وعياً من رجال السياسة للحاجة إلى حماية البيئة!

يكتسبون مزيداً من القيمة. ومن المثير للسخرية، أنه في ظل القلق من الكارثة المناخية المتوقعة، لا يثير المزيد من حيازة الطائرات الخاصة، والسيارات الفائقة القوة، والمنازل الفخمة المتعددة، والاستمتاع بحياة باذخة، أي رفض أو استنكار، بل على العكس من ذلك، يحرص الإعلام ورجال السياسة على تكريم أصحاب هذه الامتيازات، الذين يظهرون عادةً كنماذج للنجاح. علماً أن هذا الإفراط في الاستهلاك يهدد المجتمع بأسره، ويستحق بالتالي أن نوليه الاهتمام اللازم، بقدر الاهتمام الذي تحظى به مسألة القيادة في حالة الثمالة على سبيل المثال، أو ربما أكثر.

مساواة أكبر

بشكل عام، يستحيل أن نتأمل جهداً جماعياً تبذله البشرية لضمان نمط حياة أكثر واقعية، من دون تقليص الفوارق الاجتماعية بنسبة كبيرة. ففي البداية، نحن نعرف أن الفقر المدقع يبعد الإنسان عن المشاكل البيئية وعن أية مسائل أخلاقية مثيرة للقلق. وبالتالي ثمة نسبة كبيرة من الناس تعيش بكمية من البروتين أقل من النسبة التي حددتها منظمة الأغذية والزراعة. إن الطلب من أولئك الرجال والنساء أن يقلعوا، على سبيل المثال، عن قطع أشجار الغابات، في حين أن الخشب هو سبيلهم الوحيد إلى التدفئة وتوفير سبل العيش، يُعد ضرباً من الخيال. لكن، عدا عن هذه المشكلة، يتعين علينا أن نحد من الفوارق على الصعيد العالمي، لا سيما أن شاشات التلفزة تنقل في كل لحظة حياة المترفين الأغنياء إلى فقراء العالم. في الواقع، إنه من غير اللائق ومن غير المجدي أن نطلب إلى سكان المناطق الاستوائية والمدارية المساهمة في تخفيض نسبة الانبعاثات، عندما تكون كمية الانبعاثات السنوية من الكربون التي تصدر عنهم أقل من تلك التي يصدرها من يعيش في إحدى دول منظمة التعاون

يعد تشديد الرقابة وقمع الأعمال المضرة بالبيئة (في الصورة: مندوب الصندوق العالمي للحياة البرية يعاين أشجاراً مقطوعة في الغابون)، أمراً ضرورياً لوقف الممارسات المدمرة.

والتنمية بعشر مرات. إن السيناريو الوحيد المقبول لهذا الكوكب، هو ذلك القائل بالتطوير السريع لدول الجنوب، الذي يعتمد على التقنيات الأكثر توفيراً للطاقة المستوردة من البلدان الصناعية، ما يفسح المجال لوتيرة تنمية عالمية تستعمل الموارد والتكنولوجيات المتاحة.

معجم

منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية: تأسست في العام 1961 وتشمل حالياً 30 دولة. تقدم لأعضائها إطاراً لتحليل السياسات الاقتصادية والاجتماعية وتطويرها وتحسينها.

ما المغزى من النمو؟

إن شركة مسؤولة مناخياً ينبغي أن تضع حداً لثقافة النمو السائدة حالياً، والتي يتبناها نقابات العمال وأرباب العمل على حد سواء، كما وسائل الإعلام والسياسيون. لا ينبغي أن ينظر صناع القرار من الآن فصاعداً إلى الناتج المحلي الإجمالي، بل إلى انبعاثات غازات الدفيئة، وبشكل عام، إلى التأثير الذي يتركه الإنسان على كوكب الأرض. يمكننا، على سبيل المثال، أن نتصور أن الشركات ستكافح ليس لتقليص عدد القوى العاملة لديها، تماماً كما اعتادت أن تفعل منذ سنوات، بل للحد من الانبعاثات التي تتسبب بها، وبالتالي من تأثيرها السلبي على البيئة. وبدلاً من مضاعفة الخطط الاجتماعية، فإنها ستفتح المجال دورياً أمام «خطط مناخية»، ستعمم بموجبها إجراءات جديدة أقل تلويثاً وأقل استهلاكاً للطاقة. علاوةً على ذلك، لن تجد الإعلانات التي تهدف عموماً إلى تشجيع المزيد من الاستهلاك مكاناً لها في مجتمع مماثل، وسيتحول هدفها إلى مساعدة الناس على إيجاد السعادة في نسبة أقل من الاستهلاك، حيث يمكن الاستفادة من ساعات البث التلفزيوني والإذاعي التي تشغلها، ومن صفحات المجلات والجرائد، واللوحات والجدران التي تغطيها، لنشر مختلف أنواع المعلومات المفيدة، لا سيما تلك المتعلقة بطرق العيش والتنقل والزراعة والتغذية الأكثر أماناً، والأكثر مسؤولية وتوفيراً.

المزيد من التوجيه الحكومي، والقليل من اقتصاد السوق؟

يتميز المناخ، وبصفة عامة مجموعة العمليات البيئية، بدرجة عالية من الجمود، وبالتالي بفترات تفاعل طويلة. ولكي نستطيع رصد تطورها، يتعين علينا التفكير على المدى الطويل، وتوقع ما يمكن أن يحصل على الصعيد المناخي بعد هذا العقد، وعلى مدى نصف قرن إن لم يكن قرناً كاملاً. لكن يبدو واضحاً أن اقتصاد السوق، في حال مواصلته تحفيز التقدم والإثراء الاجتماعي بشكل لم يسبق له مثيل في التاريخ، لن يكون قادراً بالتأكيد على التوقع والتخطيط لمدد طويلة.

وإذ يخضع الاقتصاد للحاجة إلى نتائج فورية، إضافة إلى عجزه عن وضع خطط للموارد المجانية التي تقدمها البيئة، فإنه يسير بالبشرية إلى كارثة بيئية. لذلك لا بد من أن توجه السلطات السياسية السوق بشكل صارم ومنظم، فهي الوحيدة التي قد تكون قادرة على العمل بما فيه المصلحة العامة. هنا يكمن من دون شك مفتاح النجاح، في حال أردنا التغلب على الأزمة المناخية والبيئية التي يشهدها عصرنا.

مسألة النووي المعقدة

للطاقة النووية عيوب لا يمكن إنكارها، إلا أن الصعوبة تكمن في إيجاد حل لأزمة المناخ في حال رفض الإنسان اللجوء، أقله جزئياً، إلى الذرة.

مخزون محتمل لعدة قرون

يحتل النووي حالياً دوراً ثانوياً في إنتاج الطاقة العالمية، إذ لا يستعمل إلا لإنتاج 6 % منها فقط. تساهم الطاقة النووية بنحو 20 % من إنتاج الكهرباء، ما يمنحها هامشاً مهماً جداً لتحقيق النمو.

لكن هذا النوع من الطاقة لا يُعد مصدر طاقة متجددة بالمعنى الدقيق للكلمة. في الواقع، تعادل احتياطيات اليورانيوم 235 العالمية (مادة قابلة للاشتعال تستخدم في محطات الطاقة النووية) حالياً احتياطيات النفط تقريباً. لكن ثمة تقنية تسمى مفاعل التوليد السريع، تتيح استخدام العديد من المواد الأخرى (اليورانيوم 238 والثوريوم 232 على سبيل المثال)، المتوفرة بكثرة على هذا الكوكب. يشير الخبراء إلى أن هذه التقنية يمكنها أن تتطور في حال تم بذل مجهود تكنولوجي متاح عملياً (خلافاً لتقنية الاندماج النووي التي تسبب مشاكل أخرى). وسوف تمتلك البشرية مخزوناً من الطاقة الكهربائية غير المحدود يمتد قروناً طويلة.

طاقة وفيرة ومستمرة

على غرار مختلف أنواع الطاقة الأخرى، فإن للطاقة النووية عيوباً ومزايا، لا يفضل منحها أهمية قصوى فحسب، بل يستحسن أيضاً أن تقارن بمزايا أنواع الطاقة الأخرى المنافسة وعيوبها. في الواقع، إن لهذه الطاقة فوائد كبيرة؛ فانبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن الطاقة النووية منخفضة جداً، إذا ما قارناها بالطاقة الكهربائية المولدة: 6 غرام من ثاني أكسيد الكربون لكل كيلو واط ساعة مقابل ألف غرام تقريباً ينتج عن الفحم! ويمكن أن تُنتَج الطاقة النووية مركزياً (وتتكيف بالتالي مع الشبكات القائمة)، وبكميات كبيرة ومن دون انقطاع، الأمر الذي يميزها بشكل كبير عن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح على سبيل المثال؛ في الحقيقة، عند الحديث عن تزويد مصاهر المعادن والمستشفيات أو شبكات السكك الحديدية بالطاقة بشكل مستمر، لا تبدو المصادر مثل الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح ملائمة على الإطلاق.

خطر الحوادث: أمر لا يمكن إنكاره

ما هي عيوب استخدام الطاقة النووية؟ يتجلى العيب الأول بالتأكيد في مسألة سلامة المنشآت، ولنا في حادث محطة تشيرنوبيل الأوكرانية في العام 1986 مثلاً

جلياً. هذا وقد حركت هجمات 11 أيلول/ سبتمبر في الولايات المتحدة المخاوف من هجوم إرهابي قد يولد المزيد من الحوادث المماثلة.

مع ذلك، يتيح بعض الحقائق تقديم أمثلة حول هذه المسألة. لا شك في أن حادث تشيرنوبيل كان خطراً جداً، لكن وفقاً لإحصاءات منظمة الصحة العالمية، فقد أدى على الأكثر إلى وفاة أربعين شخصاً معظمهم من رجال الإنقاذ والمتطوعين لإخلاء الموقع وعزل المفاعلات بعد الانفجار. وقد سجل ارتفاع في معدل الإصابة بسرطان الغدة الدرقية بين السكان الذين تعرضوا للإشعاعات (وصل عددهم إلى عدة آلاف)، إلا أن هذا النوع من السرطان يمكن علاجه بشكل جيد نسبياً، فلم يؤدِ بالتالي إلى وفاة أكثر من عشرة مصابين. في الواقع، وفي ظل المعلومات المتاحة حتى الآن، لا يزال هناك فارق كبير في الخسائر مقارنة بالعديد من الحوادث الصناعية (800 حالة وفاة في ميناماتا في اليابان نتيجة تلوث مياه البحر بالزئبق، 20000 في بوپال في الهند بعد انفجار خزان يحتوي على مواد كيميائية). إلا أن هذه الحوادث لم تغير شيئاً بالنظر إلى وجود الآلاف من المنشآت الصناعية تعرف باسم «سيڤيزو 2»، أي التي تهدد بوقوع حوادث خطرة، نظراً لطبيعة المنتجات المخزنة وكميتها. هذا الخطر الصناعي، الذي لا يحمل طبعاً أي فرح في طياته، هو خطر مقبول اجتماعياً. هذا ولا يختلف خطر النووي كثيراً عن ذلك...

طاقات أخرى أخطر وأخطر

تجدر الإشارة إلى أن أماكن تركيز الطاقة هي من حيث الجوهر نقاط خطرة. فوقوع حادث في مصفاة أو سد يمكن أن يسبب الكثير من الوفيات، تماماً كما يمكن أن تفعله محطة للطاقة النووية. وينطبق هذا الاعتبار أيضاً على الحجة الإرهابية: لن يكون هجوم على محطة للطاقة النووية بالضرورة أكثر تدميراً من هجوم على مصنع للمواد الكيميائية، أو منشأة نفطية، أو حتى مبنى... فالحوادث الصناعية تتعدد أيضاً مع الوقود الأحفوري، سواء أجاءت على شكل تسرب نفطي يتكرر من عام إلى عام، أو على شكل آلاف الوفيات التي تسجل بانتظام في مناجم الفحم حول العالم.

في المقابل، من الواضح أن مخاطر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح أقل بكثير، إلا أن السبب في ذلك يُعزى أساساً إلى كونها توفر قدراً أقل من الطاقة (0.2 % من الاستهلاك العالمي حالياً لكليهما!).

النفايات المشعة

تكمن المشكلة الرئيسية للطاقة النووية، على الأرجح، في نفاياتها. تُعد هذه مشكلة حقيقية، بما أن مدة التفاعل الإشعاعي لبعض النفايات تمتد على مدى أكثر من مليون سنة. هنا أيضاً، ينبغي تقديم أمثلة للمقارنة.

لنأخذ حالة فرنسا الأكثر استعمالاً للنووي في العالم (يستمد 80 % من الكهرباء بواسطة الذرة)، حيث يولد مجموع المحطات الفرنسية، كل عام ولكل مواطن، كيلوغراماً من النفايات ضعيفة الإشعاع، وعشرة غرامات من النفايات عالية الإشعاع. لا يتجاوز مجموع الحجم المتراكم للنوع الأخير من النفايات، منذ بدء تشغيل أول محطة، مكعباً يبلغ ضلعه عشرة أمتار، وهو

رقم لا يمكن بالطبع الاستهانة به، إلا أن كل فرنسي يولد ثلاثمئة كيلوغرام من الملوثات السامة سنوياً، أو النفايات المسببة للتآكل، والنوعان يتطلبان تخزيناً آمناً، علماً أن بعضها يدوم لقرون عدة.. ومع ذلك لا يطالب أحد بوقف الصناعات الكيميائية!

يولد النفط والغاز (الهيدروكربون) أيضاً النفايات التي يتجاوز عمرها قرناً من الزمن، ونقصد بها جزيئات ثاني أكسيد الكربون المنبعث في الغلاف الجوي، التي تترك أثرها على المناخ لآلاف السنين. ولهذا النوع من النفايات أيضاً خاصية بالغة السوء بالمقارنة مع النفايات النووية: فما أن تطلق في الجو، تصبح استعادتها أمراً صعباً وخارجاً عن السيطرة. خلافاً لذلك، يمكن للمخلفات المشعة، إذا ما طُمرت أولاً بأول وفق الشروط الصحيحة في الطبقات الجيولوجية المستقرة، أن تتطلب عملية مراقبة منتظمة ودقيقة.

ماذا عن انتشار النووي؟

من المخاطر الأخرى التي يتم الحديث عنها بموازاة مخاطر النووي السلمي نذكر خطر الانتشار، أو بمعنى آخر، حيازة أسلحة نووية في عدد متزايد من الدول، بما فيها الدول الصغيرة غير المستقرة.

في الواقع، هذا الخطر موجود بشكل فعلي ولا يمكن إنكاره، لكننا نميل إلى وصف الضرر الناتج عنه كما يلي: إن الدول التي تمتلك الأسلحة النووية اليوم هي من الكثرة بحيث تنتج 80 % من الكهرباء في العالم. لو كانت هذه الكهرباء (في الصين، والولايات المتحدة، والهند...) تستمد بشكل متزايد من الطاقة النووية، فإن هذا الأمر لن يغير من خطر الانتشار، الذي بات في كافة الأحوال أكبر بكثير، منذ تفكك الاتحاد السوفياتي. ولا بد هنا من الإشارة إلى أن معظم الدول الناشطة نووياً تمتلك قنبلة نووية... حتى قبل إنشاء محطات الطاقة النووية.

ضبابية اللوبي النووي

في معظم البلدان التي تمتلك محطات طاقة نووية، تشجب الجمعيات والأحزاب البيئية التعتيم الذي يفرضه المسؤولون حول هذا النشاط ويأسفون لعدم إشراك الناس في اتخاذ القرارات إلا نادراً، في حين لا ترشح المعلومات إلا بعد سنوات من الأحداث. وتنتقد هذه الجمعيات والأحزاب طريقة عمل أرباب هذه الصناعة والتي تتخذ شكل مجموعة ضغط (لوبي)، ونفوذهم في الأوساط السياسية.

هنا أيضاً، لا تخلو هذه الانتقادات من توجّه بنّاء. فمما لا شك فيه أنه يتعين على الصناعة النووية أن تحرز نمواً ديمقراطياً جاداً، لكن ينبغي أن يؤخذ بعين الاعتبار أيضاً لوبي النفط والغاز، الذي يُعد فعلياً أقوى من لوبي النووي، وذلك لأنه يوفر طاقة تفوق بعشر مرات ما يقدمه النووي على المستوى العالمي. بالإضافة إلى ذلك، فإن لوبي النفط على سبيل المثال، يمكنه الاعتماد عموماً على دعم صناعة النقل المتنامية له! أخيراً، ينضوي لوبي النفط والغاز ضمن القطاع الخاص، في حين أن اللوبي النووي هو عادة لوبي دولة، يتألف من تكنوقراط أقل خضوعاً لضرورة جني الأرباح. وبهذا فإن توجيه هذه الانتقادات جميعها إلى لوبي النووي لا يبدو متوازناً جداً...

طاقة نووية أم هيدروكربون؟

على الرغم من المقارنة التي سقناها سابقاً، فإن مختلف المخاطر المرتبطة باستخدام الطاقة النووية ينبغي أن تؤخذ على محمل الجد. ولكن أياً كان تقييمنا، يجب أن نلتقي عند نقطة واحدة: في ظل حالة التكنولوجيا الراهنة، وربما على مدى بضعة عقود مقبلة، لن تكون الطاقات البديلة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح قادرة على توليد جزء كبير من الكهرباء التي نحتاج إليها. لذلك تنحصر خياراتنا بين الكهرباء المولدة إما من الطاقة النووية أو من الوقود الأحفوري. في الواقع، لا يمكن الاعتماد على الطاقة الكهرمائية، ففي البلدان الصناعية لم يعد مصدر الطاقة هذا رهناً بالتطورات الهامة، أما في ما يتعلق بالطاقة التي نستمدها من الكتلة الحيوية، فإنها تتطلب لتلبية احتياجاتنا مساحات شاسعة. أخيراً، لا شك في أن المورد المتأتي من خلال التوفير في الطاقة هو مورد لا غنى عنه، لكن يكفي التفكير في الأمر على مستوى عائلة واحدة، لندرك أنه حتى مع اتباع أقصى تدابير التوفير على الأصعدة كافة (التدفئة والنقل والاستهلاك...)، تبقى قسمة فاتورة الطاقة على أربعة أمراً صعباً! وبالتالي فإن التوقف عن استخدام الطاقة النووية يعني بالضرورة بالنسبة إلى الدولة التي ستتخذ قراراً كهذا، استبدال الذرة بالوقود الأحفوري. لا شك في أن هذا الحل قد يمكن فهمه، إلا أنه لا بد من أن نتمتع بالصدق ونعلن بصراحة عن النتائج.

معجم

توليد فائق: إنتاج أكبر كمية من المواد عبر المواد النووية الخصبة، تفوق تلك المستهلكة وتكون قابلة للإنشطار النووي.

اندماج نووي: اتحاد العديد من الذرات الخفيفة (هيدروجين، ديوتيريوم، إلخ..) في ذرة أثقل، يتم إنتاجها على درجة حرارة عالية جدا (ملايين الدرجات)، حيث يؤدي هذا الاندماج إلى الإفراج عن كمية كبيرة من الطاقة.

بين المخاطر المناخية والمخاطر النووية

تطرح الإشكالية التي أثيرت السؤال التالي: ما هو الأكثر إلحاحاً: التوقف عن استخدام النووي أم التوقف عن استخدام الهيدروكربون؟ كثيراً ما يقال إنه للتخلص من الطاقة النووية، علينا تطوير قدرتنا على التوفير في الطاقة والاعتماد على الموارد المتجددة. لقد سبق ورأينا أن الأمر ليس سهلاً، تحديداً بسبب الحجم الكبير المطلوب إنتاجه من الطاقة ومشاكل الإنتاج المتقطع. لكن لنفترض حدوث تقدم تكنولوجي غير متوقع يتيح لنا أن ننتج الكثير من الكهرباء المتجددة، أو ربما توفير كمية كبيرة منها؛ في هذه الحالة، أي مصانع يجب إغلاقها أولاً وفي القريب العاجل: محطات الطاقة النووية، أم المحطات العاملة على الهيدروكربون؟

في السياق عينه يمكننا الحديث عن مسألة أخرى، ألا وهي أن الصين سيتضاعف استهلاكها للطاقة بين عامي 2001 و2025، وفقاً لما صرح به الخبراء. فهل ينبغي أن نعارض إقدام هذه الدولة على بناء محطات جديدة للطاقة النووية (علماً أنها تمتلك أسلحة نووية)، ونناضل للحصول على محطات توليد للطاقة تعمل على الفحم؟ أليس من الأفضل توفير التكنولوجيا المناسبة لتمكينها من امتلاك الأجهزة التي

تعرف على أنها الأسلم؟
أخيراً، ثمة تساؤل آخر يطرح نفسه: في حين يبدو واضحاً أنه من الصعب جداً إقناع المجتمعات بقسمة استهلاك الطاقة على 2 أو على 4، هل ينبغي تعقيد المهمة مع المطالبة بالتوقف عن استخدام الطاقة النووية، وبالتالي تخفيض الكمية المنتجة من الطاقة بشكل كبير؟

في الواقع، على الرغم من العدائية التي يضمرها التيار البيئي حالياً إزاء الذرة، فإن أغلبية علماء المناخ يعتبرون أنه بين المخاطر المناخية والمخاطر النووية، فإن الأولى هي التي تحمل في طياتها معظم الكوارث الخطرة. مع ذلك، فمن المفارقة أن التيار «الأخضر»، الأكثر قلقاً من حيث المبدأ على مستقبل هذا الكوكب، يعارض بشكل جذري وبالإجماع استخدام الطاقة النووية (على الرغم من أن بعض أنصار هذا التيار من المفكرين المهمين كجيمس لوڤلوك، صاحب فرضية غايا[1]، يعتبرون الطاقة النووية اليوم شراً ضئيلاً).

ربما يكمن السبب في كون هذا التيار قد أعلن طرحه في السبعينيات، إبان مرحلة كان الاحتباس الحراري العالمي الذي يهدد كوكبنا غير معروف بعد، وفي سياق كان التسلح النووي يهدد السلام العالمي.

بالتأكيد لن يكون النووي المدني علاجاً شافياً، وهو لا يكفي لوضعنا بمنأى عن عواقب ظاهرة الاحتباس الحراري، في حال لم نقرر تغيير نمط حياتنا. لكن يمكنه أن يكون أحد عناصر استراتيجية التكيف، وبشكل خاص عنصر دعم لتسهيل الانتقال من اقتصادنا الحالي، الذي يستهلك كميات هائلة من الهيدروكربون، إلى «اقتصاد منخفض الكربون».

(1) فرضية غايا: غايا هي إلهة يونانية ترمز إلى الأرض. قدم هذه النظرية بشكل رسمي جيمس لوڤلوك، المتخصص في علوم الغلاف الجوي، بعد أن كان جوهانس كبلر (فلكي ألماني عاش في القرنين السادس عشر والسابع عشر) قد طرحها سابقاً. ترى الفرضية أن الأرض، بنظامها المعقد والمنتظم ذاتياً، تتميز بالعديد من الخصائص التي تميز الكائن الحي. يعمل مجموع المادة الحية الأرضية وفق هذه النظرية ككائن كبير يكيف الأرض باستمرار مع احتياجاته.

معجم المصطلحات

أثر مرتد
عملية تؤثر بصورة مرتدة على الظاهرة التي أنتجتها. نعني بالأثر المرتد الإيجابي عندما تتعزز قوة الظاهرة: فظاهرة الاحتباس تزيد من نسبة التبخر، الذي يؤدي بدوره إلى تفاقم ظاهرة الاحتباس (البخار هو نوع من أنواع غازات الدفيئة). يمكن أن تكون الآثار المرتدة سلبية أيضاً.

احتياطي
ونعني به مخزون الهيدروكربون (النفط والغاز) الذي لم يُستخرج بعد من الطبقات الجوفية. يشكل تحديد كميته ونوعيته، الصعب على الصعيد التقني والحساس على الصعيد السياسي، موضع نقاش.

أحفوري (طاقة)
راجع طاقة أحفورية.

إشراق شمسي
أو إشعاع شمسي، وهو الفترة التي تشع في خلالها الشمس.

إشعاع
هو العملية التي تتضمن نقل الطاقة على شكل دقائق أو موجات إلكترومغناطيسية أو صوتية.

أشعة تحت الحمراء
تُقال للأشعة الإلكترومغناطيسية التي يراوح طول موجتها بين 0.8 و1 ميكرومتر.

أشعة فوق البنفسجية
تُقال للأشعة الإلكترومغناطيسية التي لا تراها العين البشرية.

إعصار مداري
اضطراب جوي يتخذ شكل دوامة، ترافقه رياح عنيفة جداً وأمطار غزيرة، يتشكل في محيطات منطقة ما بين المدارين.

انتهازيّ
يُطلق خصوصاً على نوع من الكائنات يتكيّف مع ظروف الوقت الراهن.

انقراض
اختفاء أفراد نوع معين من الكائنات الحية في شكلٍ كامل.

أوزون
غاز مؤلف من جزيئات تضم ثلاث ذرات أكسيجين (O_3)، يتشكل على ارتفاع يراوح بين 20 و30 كلم بفعل تفكك الأوكسيجين الذي يحتويه الهواء (O_2) تحت تأثير أشعة الشمس.

بنية تحتية
مجموع التجهيزات الاقتصادية والتقنية لبلد ما، وشبكات النقل، والطاقة، إلخ.

تأثير الدفيئة
ظاهرة احترار طبقات الغلاف الجوي المنخفضة، ناتجة عن غازات (ثاني أكسيد الكربون في شكل خاص) تجعلها غير شفافةً أمام الأشعة تحت الحمراء التي تبعثها الأرض.

تأثير العتبة
قدرة بعض الأنظمة على تغيير حالته بشكل جذري، وبصورة لا عودة فيها في

معظم الأحيان، من خلال تغيير طفيف في الظروف الأوّلية.

تأكُل
مجموع التأثيرات الخارجيّة الخاصّة بالعوامل الجوية والمياه والأنهار الجليديّة، وما إلى ذلك، التي تتسبّب بإتلاف التّضاريس.

تربة صقيعية (جليدية)
جزء عميق من تربة خاضعة للصّقيع (الجليد)، يحتوي على معادن وهو متجمّد بشكل دائم (مرادف: تربة متجمدة).

تصحُر
تحوّل منطقة ما إلى صحراء.

تكتل سكاني
تجمعات حضرية كبيرة جداً أو مجموعة من المدن المتجاورة.

تلوث
تدهور حالة مجال طبيعي بفعل مواد كيميائية، أو نفايات صناعية أو منزلية.

تنوع حيوي
تنوع الكائنات الحية وخصائصها الوراثية.

ثاني أكسيد الكربون
غاز ينتج من اجتماع ذرات الكربون مع الأكسيجين.

ج ف م ح
مختصر «جزء في المليون من حيث الحجم». إنّ جزءاً واحداً في المليون من حيث الحجم يعادل 0.001 %، أيّ سنتيمتراً مكعّباً واحداً من الغاز لكلّ متر مكعّب من الهواء. أما في ما يخصّ الغازات النّادرة، فنستعمل ج ف ب ح، أي جزء في المليار (البليون) من حيث الحجم.

جزيرة مرجانية
توجد في البحار الاستوائية وتتألف من شعاب مرجانية تتوسطها بحيرة قليلة العمق، تسمى البحيرة المرجانية.

جفاف
حالة يتخطى فيها التبخر المحتمل دائماً كمية المتساقطات.

جليد بحري
امتداد واسع من الكتل الجليدية العائمة.

حراري (معمل)
راجع معمل (محطة توليد) حراري.

حرارية (طاقة شمسية)
راجع طاقة شمسية حرارية

دفيئة (تأثير)
راجع تأثير الدفيئة.

دورة مائية
مجموع عمليات انتقال المياه بين مختلف الأحواض المائية (محيطات، أنهار، بحيرات...) على كوكبنا.

رياح موسمية
رياح مدارية دورية تهب بالتناوب من اليابسة باتجاه البحر ومن البحر باتجاه اليابسة (ستة أشهر لكلّ اتجاه).

طاقة أحفورية
طاقة مستخرجة من المصادر العضوية المتوفرة في الطبقات الصخرية الرسوبية (الفحم، النفط، الغاز الطبيعي...).

طاقة أرضية حرارية
استعمال الطاقة الصادرة عن حرارة أعماق الأرض.

طاقة شمسية حرارية
هي تلك التي تنتج مباشرة الماء الساخن، وهنا لا بدّ من التمييز بينها وبين الطاقة الشمسية التي تولد الكهرباء.

طاقة كهرمائية
طاقة كهربائية تُنتَج عن طريق طاقة مياه الأنهار والمساقط المائية.

طاقي
ما له علاقة بالطاقة ومصادرها.

ظهور أنواع جديدة
ظهور فوارق وراثية ومورفولوجية وفيزيولوجية...

عصر جليدي
فترة جيولوجية تتميّز بتمدد الغطاء الجليدي نحو خطوط العرض المنخفضة، والجليد الجبلي نحو الوديان.

علم الأرصاد الجوية
علم الجو الذي يدرس حالات الجوّ بهدف توقع حالات الطقس.

علم البيئة (إيكولوجيا)
علم يدرس العلاقات بين الكائنات الحية ومحيطها، كذلك العلاقات في ما بينها.

علم المناخ
علم يهدف إلى وصف وتقسيم وتصنيف وشرح توزع مختلف أنواع المناخات وتاريخها.

عمل من المنزل
ممارسة شكل من أشكال العمل عن بعد ينجزه الموظف من منزله، ويستخدم من أجل هذه الغاية كمبيوتر وأدوات اتصالات سلكية ولاسلكية.

عنفة (توربين) رياح
آلة تُستعمل لالتقاط الطاقة الهوائية.

عينة أسطوانية جليدية
عينة أسطوانية (من الجليد) تُستخرج من أعماق كتلة جليدية بواسطة آلة خاصة (مُعيِّنة).

غابات المانغروف
غابة برمائيّة تتألف من شجر جذري الأغصان، تنمو على الشّواطئ والسواحل الطينيّة في المناطق الاستوائيّة.

غطاء جليدي
كتلة من الجليد والثلج تغطي المناطق القطبية وقمم بعض الجبال.

غلاف جوي
طبقة غازية تشكل الغلاف الخارجي للأرض وغير ذلك من الأجرام السماوية.

غلاف حيوي
منطقة تضم الهواء والتربة والمياه حيث تتطور الكائنات الحية.

فوضى (نظرية)
راجع نظرية الفوضى.

قياس هطول الأمطار
قياس توزع الأمطار في المكان والزّمان.

كائنات مجهرية (دقيقة)
كائن حي دقيق جداً (بكتيريا، فطريات أحادية الخلية، فيروس...).

كتلة حيوية
كتلة حية تُعدّ من وجهة نظر الطاقة أنه في الإمكان الحصول عليها عن طريق الحرق أو التخمير.

كربون (ثاني أكسيد)
راجع ثاني أكسيد الكربون.

كربون (غاز)
راجع ثاني أكسيد الكربون.

كربون (مكافئ)
راجع مكافئ الكربون.

كربون
عنصر بسيط غير معدني يظهر على شكل جزيئات

مبلّرة (ألماس، غرافيت) أو غير مبلرة (فحم الأنتراسيت، الفحم الحجري).

كلوروفلوروكربون (مركبات الكربون الكلورية الفلورية أو CFC)
غاز صناعي يتألف من الميتان والإيتان (أو الإيتيلين) والبروبين، ويُعد مسؤولاً عن تلف طبقة الأوزون.

اللجنة الدولية للتغيرات المناخية
لجنة أسستها المنظمة العالمية للأرصاد الجوية وبرنامج الأمم المتحدة حول البيئة في العام 1986، وتضم مئات العلماء من 170 جنسية مختلفة، ومهمتها تقديم تقارير تلخّص حالة المعطيات العلمية حول المناخ في وقتٍ معين.

متساقطات
مجموعة الظواهر الجوية المائية، السائلة والصلبة، المتأتية من الغلاف الجوي؛ أي مجموعة العمليات التي تبدأ بتكثف بخار الماء وتنتهي بهطول الأمطار.

محطة/ معمل حراري
معمل يولّد الطاقة الكهربائية مستخدماً وقوداً أحفورياً (نفط، على سبيل المثال) لإنتاج بخار الماء بغية تشغيل توربينات المولدات.

محيط حيوي
بيئة أرضية أو مائية حيث تعيش بعض الكائنات الحية.

مدى حيوي
مكان على اليابسة أو في المياه تعيش فيه الكائنات الحية.

مكافئ الكربون
وحدة تعبّر عن تأثير «الاحترار» المقارن لمختلف غازات الدفيئة، مع الأخذ في الاعتبار طول عمرها (مدة بقائها في الجو) وخصائصها البصرية.

مناخ
مجموعة حالات الغلاف الجوي (الحرارة، الهواء...) في مكان معين وفي فترة زمنية محددة (شهر، سنة، ألفية).

منظمة الأغذية والزراعة (FAO)
وكالة متخصصة تابعة للأمم المتحدة أنشئت في العام 1945 بهدف القيام بعمل دولي لمكافحة الجوع وتحسين الظروف المعيشية.

منظمة التعاون والتنمية الإقتصادية
أسست في العام 1961 وتضم حالياً 30 دولة. تقدم لأعضائها إطاراً لتحليل السياسات الاقتصادية والاجتماعية وتطويرها وتحسينها.

منظمة الصحة العالمية
منظمة دولية تابعة للأمم المتحدة، أسست في العام 1946، وترمي إلى مساعدة الشعوب كافة للوصول إلى أفضل مستوى صحي.

مياه (دورة)
راجع دورة مائية.

مياه جوفية
تجمع للمياه في باطن الأرض ناتج عن تسرب مياه الأمطار.

ميتان
غاز خفيف جداً ناتج عن تحلل المادة العضوية، وهو مكوّن أساسي للهواء. ازدادت كثافته في الجوّ ثلاثة أضعاف خلال الخمسين عاماً المنصرمة.

ناقل
يشير إلى كائن حيّ ينقل عنصراً معدياً. معظمها من اللافقاريّات (كالبرغوث، والبعوضة والقرادة)، وقد نصادف بينها القوارض وبعض الطيور.

نظام بيئي
نظام يتألف من وسط (مدى حيوي) ومختلف الكائنات الحية المرتبطة به.

نظريّة الفوضى
نظريّة تهتم بالظواهر «غير الخطية» حيث يحوّل تغيير متناهي الصغر في الحالة الأوليّة الحالة النّهائيّة بشكل جذري. ويشكل وضع معادلّة لظواهر مماثلة إشكاليّة كبيرة.

نقل مزدوج
أسلوب لنقل البضائع يقوم على وضع الشاحنات المحملة بها في قطارات مجهزة لهذه الغاية.

نموذج مناخي
تمثيل مصغر أو رقمي للغلاف الجوي وخصائصه، يهدف إلى توقع حالة الأرصاد الجوية أو إجراء محاكاة مناخية.

النينيو
ظاهرة محيطية تتميز باحترار غير عادي للمياه السطحية في وسط وشرق المحيط الهادئ، لا سيما على طول سواحل البيرو.

هباء جوي
غبار صغير جداً، صلب الماهية أو على الأغلب سائل، معلّق في الغاز.

هيدروكربون
جزيء مؤلف من الكربون والهيدروجين فقط، وغني جداً بالطاقة.

وقود حيوي
وقود مستخرج من النباتات (قصب السكر، النباتات الزيتية والحبوب، إلخ).

فهرس

آبار الكربون 42
ابتعاد عن المعدل 38
أثر مرتد 19، 26، 92
أرخبيل 40
أرينيوس (سفانتي) 10
استهلاك مفرط 77، 81، 107، 108، 109، 112
اسكندنافيا 56، 60
أسماك 50
أشعة
– الشمس 10، 11، 16، 18، 23، 62، 96
– تحت الحمراء 10، 11، 13، 27
– فوق البنفسجية 53
إعادة تدوير 104
إعصار 38، 39، 53، 58
– أندرو 60
– ليندا 39
اقتصاد السوق 115
أقصى الشمال 28
إكسون 22
أكسيد
– النيتروجين 72، 87
– النيتروز 11
ألاسكا 34
الألب 60
ألمينيوم 82، 83، 104، 107
انتشار (الأنواع) 49
انقراض (الأنواع) 48، 50
أوزون 13، 53، 72
– ثقب 13
– طبقة 53
إيقاع بيولوجي (تغير) 48، 49
بترول (راجع وقود أحفوري، هيدروكربون)
بروتوكسيد النيتروجين 13، 74، 75
بعوضة 54
بنغلادش 46 – 47
بنية تحتية 51، 60، 61، 70، 100
تأكل 36، 48، 60
تبخر 36، 39
تحت الحمراء (أشعة) 10، 11، 13
تحديد التواريخ 15
تحريج (راجع أيضاً غابة) 56
تحوّل حضري 61، 62، 63، 79، 80
تدفئة 78، 79، 81، 109
تربة صقيعية 28، 29، 45، 60
تصحر 65
تغذية 58، 65، 75 – 77، 108
تغليف 77، 83، 110
التقرير التقييمي رقم 4 23
تكييف 80، 81، 109
تلوث
– بمفعول مؤجل 13
– جوي مرئي 32 – 33
تيار بحري 44
تيندال (جون) 10
ثاني أكسيد الكربون
– الناتج عن الصناعة 66 – 67، 82
– الناتج عن المنشآت 78
– الناتج عن النقل 70 – 73
– امتصاصه 16، 17، 19، 42
– انبعاثاته العالمية 68، 69، 84
– تخزينه 102 – 104
– دوره في ظاهرة الدفيئة 11، 12
– معدله الحرج 92، 93، 94
– معدله في الغلاف الجوي 15، 16، 19، 28، 87، 91
ثلاجة 13
جبل 16، 49، 50
جزيرة 40، 41
جزيرة مرجانية 41
جفاف 37، 38، 53، 57، 58
جليد
– بحري 40
– ذوبان 28، 40، 50، 60، 92
– عصر جليدي 17، 34
– عينة اسطوانية 14، 15، 19، 45
– كتل جليدية 40، 91
– نهر جليدي 34
جيريّ 17، 27
جيولوجيا 16
حافلة (راجع النقل المشترك)
حرارة
– أرضية 96
– معدلها العالمي 11، 19
– تطور درجاتها 34 – 35
– معدل النصف الشمالي 35
حريق 36، 45
حسابات مناخية (نظام) 24 – 25
حمى الضنك 54، 55
حمى صفراء 55
حيوانات 48 – 51
خشب 56، 99، 109، 114
خلية (من النموذج) 24
دلتا النيل 41
دورة حرارية ملحية 44، 92
ذرة 57، 58
ذوبان (راجع جليد)
رحيق 15
رسوبي 15، 45
رعي مفرط 59
روسيا 56، 60
ري 55، 59
رياح موسمية آسيوية 37
رياضة ميكانيكية 109
زراعة 12، 36، 55، 56 – 59، 74 – 77، 92، 100
– عضوية 74، 108
زيادة الوفيات 52
سخام 27
سدود هيدرومائية 96
سرطان 53
سوء تغذية 55
سيارة (راجع مركبة)
سيبيريا 28، 35، 56
سيناريو 35
– كارثي 42 – 45
شمس 10، 18، 96
صناعة 12، 66 – 67، 77، 82، 83، 102، 106، 107
الصين 71، 87
طائرة (راجع النقل المشترك)
طاقة
– استهلاك الطاقة 78، 80، 84 – 87، 107
– توفير الطاقة 90، 96، 104، 105، 109
– طاقة أحفورية 68
– طاقة الرياح 86، 88 – 89،

97، 98
– طاقة الكتلة الحيوية 99
– طاقة المدّ والجزر 98
– طاقة حرارية أرضية 96
– طاقة شمسية 11، 96، 99
– طاقة شمسية حرارية 99
– طاقة كهربائية 72، 85
– طاقة كهرمائية 96
– طاقة متجددة 79، 85، 86، 88
– 89، 96 – 99
– طاقة نووية 85، 104، 116
– 119
طفيليات 54، 55
طوكيو 62
عاصفة 38، 39، 41، 61، 62، 63
عتبة (تأثير الـ) 44، 45
عزل 78، 108
علم البيئة 30
علم مناخ العصور القديمة 14 – 17
عنفة (توربين) الرياح 85، 86، 88
– 89، 97، 98
عوالق 26
عينة (أسطوانية) جليدية 14، 15، 19، 45، 91
غابة 27، 42، 48، 56، 68، 82، 98، 99، 114
– قطع الغابات 68، 86
غاز الدفيئة 8 – 9، 10، 11، 12 – 13، 19، 45، 66 – 67، 72
الغانج (دلتا) 41
غايا (فرضية) 119
غرينلاند 41
غطاء جليدي 34، 40، 41
غلاف جوي 8 – 9، 11 – 14، 32 – 33
– تكوينه 12، 13، 14، 45
– تلوثه المرئي 32 – 33
– خصائصه 11
– طبقاته 8 – 9
غيوم 26، 27، 72، 73
فجوة حرارية 39
فوارق/ لامساواة (بين الشعوب) 37، 55، 59، 64، 69، 114، 115
فوريه (جوزيف) 8
فوضى (نظرية الـ) 26
فونغافال (جزيرة) 41
فيروس 54
فيضان 36، 37، 38، 41، 53، 58، 61، 63
قارة القطب الجنوبي 19، 41
قطار (راجع النقل المشترك)
القطبان 18، 34
قطع الغابات (راجع غابة)
قمة الأرض 94
قمح 57، 58، 100
قياس المطر 36، 38، 54
كائن حي 15، 27، 48
كائنات دقيقة/ مجهرية 48
كارثة طبيعية 36 – 39، 63
كبريتات 27
كربو C14 15، 19
كلاترات 45
كلوروفلوروكربون (راجع هيدروكلوروفلوروكربون)
كليمنجارو 91
كندا 28، 35، 56، 60
كهرباء 12، 72، 85، 103
كهرماء 96
كيبلر (جوهانس) 119
كيوتو (بروتوكول) 73، 93، 94
– 95
لاجئ مناخي 65
اللجنة الدولية للتغيرات المناخية 23
لفت 100
لوح شمسي 97، 99
لومبورغ (بيورن) 30
لوڤلوك (جيمس) 119
مادية 110
ماكنيل (جي آر) 70، 84
مانغروف 50
متحجرات 15، 16
مجاعة 65
محاكاة (راجع نمذجة)
محطة مراقبة 21 – 22
محيط 16، 27، 34، 40 – 41، 42، 44، 48، 102، 103
مدن كبرى 41، 100
مرجان 50، 92
مرض 52 – 55
مركبة/ سيارة 70 – 71، 100، 106
مطر (راجع مياه)
معدل/ متوسط
– الابتعاد عنه 38
– درجات الحرارة 11، 19، 35
مكافئ الكربون 69، 82، 83
ملاريا 53، 54، 55
المملكة العربية السعودية 22
منشآت 78 – 81
منظمة الصحة العالمية 53
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية 22
مواطنة بيئية 108 – 111
موجة حر 35، 52، 58
مياه
– ارتفاع مستواها 40 – 41، 50، 62، 63
– استهلاكها العالمي 64
– بخار 11، 13، 16، 27
– ري 55، 59
– فيضان 37، 38
– المطر 39، 37، 38، 55، 61
– ملوثة 53
– موارد مائية 64، 92
ميثان 11، 13، 19، 28، 45، 75
– هيدرات الميثان 45
ناقل العدوى 55
نبات 48 – 51
نشاط بركاني 16، 17
نشوء أنواع جديدة 48
نظام بيئي 42، 48، 50، 92
نظرية الصفائح التكتونية 18
نقل 12، 51، 60، 61، 70 – 73، 77، 81، 93، 100، 101، 109
– الأغذية 76
– البضائع 71، 77، 81، 93
– خاص 70، 71، 100، 106
– شبكة/ بنية تحتية 51، 60، 61، 70، 100
– مزدوج 93
– مشترك 72، 100، 101، 109
نمذجة/ تصميم النماذج 24 – 25
نمو (ثقافة الـ) 115
نموذج
– اجتماعي 112 – 115
– مناخي 25
نهر 64
نووي/ة
– اندماج 104، 116 – 120
– محطة 61، 85، 116 – 120
النينيو 37
هالوكربون 11، 13، 81
هباء جوي 27
هجرة

– الأنواع 48، 50
– السكان 55، 65
الهند 71
هندسة (معمارية) 61 – 63، 78 – 81، 111
هيدروجين 100
هيدروفلوروكربون (راجع هيدروكلوروفلوروكربون)
هيدروكربون 45، 70، 86، 87، 100، 101
– مخزونه 87
هيدروكلوروفلوروكربون 11، 13، 81
هيمالايا 16، 18
وسائل إعلام 31، 114، 115
وقود أحفوري 16، 19، 68، 70، 74، 84، 106
– حصته في إنتاج الطاقة 84
– حقوله 16
– دوره في ظاهرة الدفيئة 19، 68
وقود حيوي 98، 100
الولايات المتحدة 20 – 21، 22 – 33، 71، 74، 80، 94، 95

التغيّر المناخي

لا شكّ في أننا سنشهد في القرون المقبلة آثار الإحتباس الحراري النّاجم عن استهلاكنا المفرط والجنونيّ للطّاقة الأحفوريّة (البترول والفحم). إنّ التّغيّر المناخي العالمي، وهو أمر محتّم ولا مفرّ منه بعد الآن، سيسبّب تغيّرات عديدة على نطاق الكون بأكمله، تؤدي إلى كوارث طبيعيّة أكثر تواتراً، وصعوبات أكبر وأكثر تزايداً في الحصول على مياه الشرب، وفي التّكيّف المستمرّ في مجال الزّراعة، مع انتشار العديد من الأمراض، وتنوّع بيولوجي فقير. لكن، وبالرّغم من ذلك، لا يزال التّحكُم بحجم هذه التّغيّرات في متناول أيدينا، إذ يتوقّف مستقبل كوكبنا المناخي - أو بالأحرى مستقبلنا نحن - إلى حدٍّ كبير، على القرارات الّتي ستُنفّذ في المدى المتوسّط، والخيارات الّتي ستُتخذ في مجال الطّاقة، وبالطّبع على نمط الحياة الّذي تتّبعه البشريّة بأجمعها.

يتناول الكتاب في ستّة فصول:

- ظاهرة الدّفيئة
- توقع المناخ
- أيّ مناخ للغد؟
- التّأثيرات على البشر
- من المسؤول عن ظاهرة الدّفيئة؟
- مواجهة تحدّيات المناخ

مع العديد من الصور والرّسوم التّوضيحيّة.

إيف سياما هو صحافيّ ومتخصّص في التّرجمة العلميّة. عالم بيولوجيّ في الأصل، تخصّص سياما في القضايا البيئيّة وتمكّن منها، وهو يتعاون بشكل منتظم مع مجلّات عديدة نذكر منها مجلات La Recherche و Science et Vie و Terre Sauvage .

ISBN 978-603-8168-04-2
9 786038 168042