*Cécile Désaunay & Éric Vidalenc | سيسيل ديسوني وإيريك فيدالون
Translated by: Editorial Board | ترجمة: هيئة التحرير

الموارد الطاقية
ندرة أم وفرة في المستقبل؟

Energetic resources
Shortage or overabundance?*

ملخص: توقَّع كثير من الخبراء نقصًا وشيكًا في النفط قبل أقل من عشر سنوات، وأنّ سعره بلغ ذروته خلال العامين الماضيين، لكن، انخفض سعر النفط انخفاضًا ملحوظًا منذئذ، ولم نعد نتحدث عن الندرة. يوضح سيسيل ديسوني وإيريك فيدالون أنه لا ينبغي النظر في مسائل ندرة الموارد الطاقية، وجميع الموارد الطبيعية عمومًا، أو وفْرتها، من جهة الاحتياطيات المتاحة فحسب، ولكن أيضًا، وعلى نحو متزايد، من جهة القيود المتأتية من تأثير استهلاكها في البيئة (تدهور البيئة، والتلوث، والاحتباس الحراري... إلخ). ويؤكدان أنه ينبغي أخذ اتجاهين في الاعتبار في سبيل الإدارة المستدامة للموارد الطبيعية في السنوات القادمة: الجمود القوي للأنظمة الطاقية، والاستبدالات الممكنة عبر أنظمة الطاقة البديلة.

كلمات مفتاحية: ندرة النفط، أسعار المحروقات، وفرة الطاقة، التغير المناخي، الاستدامة.

Abstract: Whereas many experts predicted an imminent decrease in hydrocarbons before the end of the decade and prices reaching record highs, the cost of oil has fallen appreciably over the last two years and talk of shortage has almost disappeared. For Désaunay & Vidalenc, these questions of dearth or abundance of energy resources — and more broadly, of all natural resources— are not solely to be examined in terms of available resources, but also, increasingly, in terms of the constraints resulting from their impact on the environment (environmental degradation, pollution, global warming, and others). They confirm that two trends should be considered in order to achieve a sustainable management of natural resources in the coming years: the very great inertia of energy systems and the potential substitution with alternative energy systems.

Keywords: Oil scarcity, Hydrocarbons prices, Abundance of energy, Climate change, Sustainability.

* Cécile Désaunay & Éric Vidalenc, "Ressources naturelles : pénurie ou surabondance?" *Futuribles*, no. 415 (Novembre/ Décembre 2016), pp. 25-36

مقدمة

على خلفية الانهيار الأخير في أسعار النفط الذي كان أكثر حدَّة من ارتفاعها في بداية الألفية الثالثة، يمثّل طرح مسألة تزايد ندرة الموارد الطاقية تحديًا شديدًا؛ فبين أولئك الذين يعتقدون أن جميع الموارد قابلة للاستبدال فيما بينها، وأن الأسواق قادرة على إرسال إشارات واضحة، وأولئك الذين يرون أن مخزون الموارد محدود ونهائي، ربما تقع الحقيقة في سياق من التوتّرات والتكيفات المستمرة.

وإذا كانت مسألة توافر الموارد تُطرَح دائمًا بصيغة ديناميكية (ولا سيما فيما يتعلق بالتكنولوجيا، وبمستوى الأسعار... إلخ)، فربما، ينبغي النظر بجدية أكبر على مستوى نهاية السلسلة، حيث توجد عُقد أو عتبات لا ينبغي تجاوزها، وحيث يتراكم ما يرتبط باستغلال الموارد واستهلاكها من تأثيرات جانبية مضاعَفة، ونفايات، وتلوث.

وهذا هو ما يقوم به "نادي روما" منذ أربعين سنة، أو ما تقوم به أحدث منشورات ويل ستيفن في أرقى المجلات العلمية في العالم (**نيتشر** *Nature* و**ساينس** *Science*)[1]، من خلال تحديد عتبات أو حدود لاستهلاكنا. وهذا هو ما يُعبِّر عنه بيير نويل جيرو بطريقة استفزازية بعض الشيء بتعبير "نُدرة الموارد أم نفاد النفايات؟"[2]؛ لأن المؤكد أن تهديدات تدهور جودة الموارد والبيئة التي تأويها، أقوى وأقرب من تلك التي تنتج من نقص الموارد.

أولًا: القضايا الرئيسة

نمو غير مستدام في استهلاك الموارد

تستهلك البشرية المزيد من الموارد الطبيعية على نحوٍ مستمر؛ فما بين عامي 1980 و2013، ارتفع إجمالي حجم الموارد المادية المستخرَجة أو المحصَّلة في العالم بنسبة 132 في المئة، من 36 إلى 85 مليار طن[3]. ومنذ عشر سنوات، تَسارَع الاستهلاك العالمي، مدفوعًا بشكل رئيس من البلدان النامية.

---

1 Will Steffen et al., "Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet," *Science*, vol. 347, no. 6223 (February 13, 2015); Johan Rockström et al., "A Safe Operating Space for Humanity," *Nature*, vol. 461 (September 2009), pp. 472-475.

2 Pierre-Noël Giraud, "Ressources ou poubelles ?" *Le Débat*, no. 182 (novembre-décembre 2014), pp. 165-176.

3 انظر خصوصًا، بيانات "معهد أبحاث أوروبا المستدامة" SERI، وهو مؤسسة أوروبية للعصف الفكري Think-tank معترف بها في قضايا التنمية المستدامة:

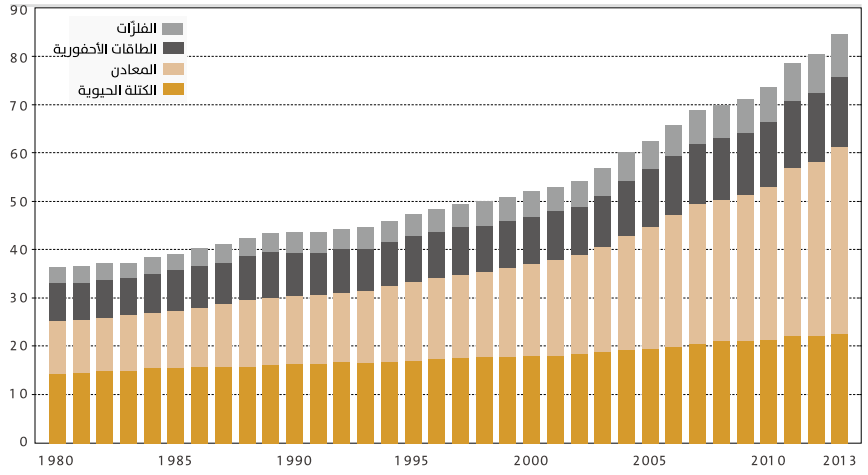
"Global Material Extraction by Material Category, 1980-2013," MaterialFlows, accessed on 5/9/2016, at: https://goo.gl/sghq7C;

وانظر أيضًا: بيانات "منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية":

OCDE, *Productivité des ressources dans les pays du G8 et de l'OCDE*, Rapport établi dans le cadre du Plan d'action 3R de Kobe (Paris: OCDE, 2011); OCDE, "Green Growth Indicators," accessed on 5/9/2016, at: https://goo.gl/QRg1Cc

الشكل (1)

استخراج الموارد المادية في العالم، 1980-2013 (بمليارات الأطنان)



المصدر:

"Global Material Extraction, GDP and Material Intensity, 1980-2013," Material Flows, accessed on 5/9/2016, at: https://goo.gl/XtFPS9

عمومًا، يمكننا التمييز، من بين هذه الموارد الطبيعية، بين أربع فئات: "الكتلة الحيوية" Biomass (الطعام والخشب)، وهي التي تتمثَّل في الموارد المتجدِّدة، والوقود الأحفوري، والفلزَّات، والمعادن (المعادن الصناعية ومعادن البناء) التي هي موارد غير متجدِّدة.

ما زالت الكتلة الحيوية تمثِّل الغالبية العظمى من الموارد المستخرجة في العالم، مع نحو 30 إلى 35 في المئة من المجموع؛ ولكن هذه النسبة قد انخفضت تقريبًا إلى النصف خلال ثلاثين عامًا. وبموازاة ذلك، تضاعفت حصة الموارد غير المتجدّدة؛ فوفقًا للأرقام الصادرة عن معهد بحوث أوروبا المستدامة Sustainable Europe Research Institute, SERI، وصلت الزيادة إلى نسبة 240 في المئة بالنسبة إلى المعادن الصناعية ومعادن البناء، مقابل 61 في المئة بالنسبة إلى الكتلة الحيوية.

وتنبغي الإشارة إلى مؤشِّر آخر، على الرغم من طبيعته المثيرة للجدل، والتبسيطية للغاية بلا شك، وهو "البصمة البيئية" Ecological footprint؛ إذ تقيس المنظمة غير الحكومية العالمية "شبكة البصمة العالمية" Global Footprint Network والصندوق العالمي للطبيعة WWF البصمة البيئية للكوكب الأرضي كل عام[4]، أي استهلاكه الموارد الزراعية، والغابوية، والبحرية، إضافة إلى انبعاثاته

4 بشأن حدود البصمة البيئية، انظر:
Isabelle Blanc et al., "L'empreinte écologique: Un indicateur ambigu," *Futuribles*, no. 334 (octobre 2007), pp. 5-24.

من الكربون. ومن ثم، فإنهم يحسبون، سنويًّا، التاريخ الذي سيتجاوز انطلاقًا منه استهلاك البشرية الموارد قدرة كوكب الأرض على تجديدها واستيعاب التأثيرات الجانبية المضاعفة التي ولَّدها هذا الاستهلاك. والحال هذه، يتقدَّم "يوم التجاوز" الذي ستعيش البشرية انطلاقًا منه بالدَّين، كل سنة وبلا هوادة؛ فقد تم بلوغه في 8 آب/ أغسطس 2016، في مقابل نهاية أيلول/ سبتمبر 2000[5].

وبحلول عام 2030، وإذا استمر نمو الاستهلاك الحالي، فقد يصل استخراج البشرية الموارد الطبيعية إلى 100 مليار طن. ويفترض هذا النمو، وفقًا لمعهد بحوث أوروبا المستدامة وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة" UNEP، أن تكون الموارد الطبيعية المتاحة كافية لتلبية هذا الطلب المتزايد، وأن تظل التأثيرات الجانبية المضاعَفة التي يولِّدها الاستهلاك العالمي تحت السيطرة على الصعيد العالمي؛ وهما افتراضان مشكوك فيهما وفقًا لهاتين المنظمتين. على سبيل المثال، سيصبح توافر بعض هذه المعادن، على غرار بعض المعادن الأرضية النادرة[6]، هو الرهان الرئيس في غضون سنوات قليلة. وبالفعل، حتى لو كانت الاحتياطيات كافية، فيمكن أن تنشأ توترات متصلة بعاملين أساسيين؛ أولهما عامل التعقيد والتكلفة المتزايدين لاستغلال الحقول، وثانيهما العامل الجيوسياسي، ولا سيَّما كون الصين توفر اليوم 90 في المئة من الإنتاج العالمي من المعادن الأرضية النادرة.

ومن شأن هذه التوترات كبح تطوير بعض القطاعات، مثل قطاع الطاقات المتجددة (انظر البدائل الممكنة بالنسبة إلى الطاقات البديلة). ومن ثم، ووفقًا للعالم الجيولوجي دومينيك غويوني، "يستلزم توفير كيلواط ساعي من الطاقة الكهربائية من خلال عنفة رياح أرضية نحو 10 أضعاف الخرسانة والفولاذ المستخدمَين لإنتاجه من خلال محطة حرارية تعمل بالماء أو بالفحم، و20 ضعفًا من النحاس والألومنيوم"[7]. وبالمثل، فقد فجَّر إنتاج البطاريات للأجهزة الإلكترونية، والسيارات الكهربائية، وغيرها، الطلب العالمي على الليثيوم.

أي سعر للطاقة؟

استغلال حقول جديدة غير تقليدية، أو تباطؤ النشاط الاقتصادي العالمي، أو الخلاف بين الدول المنتجة، أو إستراتيجيات الحفاظ على الحصص السوقية والريع، أو تنمية بدائل (المحروقات غير التقليدية، أو "تسييل الفحم" CTL، أو "تسييل الغاز" GTL)، هي جميعها عوامل أدت إلى الصدمة الارتدادية الراهنة التي انهارت بسببها أسعار النفط بعد بلوغها ذروتَي عامَي 2008 و2011 المقدرة بـ 130دولارًا أميركيًّا للبرميل.

---

5 Cf. "Lundi 8 août, jour du dépassement global," communiqué de presse (12 juillet 2016), accessed on 5/9/2016, at: https://goo.gl/ULYPtP

6 "المعادن الأرضية النادرة" Rare-earth element, REE، مجموعة من 17 عنصرًا كيميائيًّا في الجدول الدوري. أطلق عليها تسمية "نادرة" بسبب قلة الأماكن التي كانت تستخرج منها سابقًا، وقد أصبحت تحتل دورًا متزايد الأهمية في التقنيات الحديثة على مدار السنوات الماضية؛ إذ تُستخدَم في تصنيع النواقل الفائقة Superconductivity، كما تدخل في صناعة مكونات السيارات الكهربائية الهجينة (البطاريات والمغانط)، كما تُستخدَم في الإلكترونيات الضوئية.

7 Béatrice Madeline, "La ruée vers les métaux," *Le Monde Économie* (12 septembre 2016).

فهل سينجم عن ذلك استدامة هذا الاتجاه[8]؟ على المدى القصير، أي خلال السنوات القليلة المقبلة، من شأن عامل واحد من بين هذه العوامل زعزعة استقرار السوق، وخلق طفرة أو انخفاض حادٍّ في الأسعار؛ فمواءمة العرض والطلب هي نتيجة لتوازن هش من شأن الأحداث الجيوسياسية أن تخل به على نحوٍ أسرع من الاضطرابات في نظم الطاقة القائمة بشكل كبير على القصور الذاتي (انظر أدناه القصور الذاتي في نظم الطاقة).

ولكن بدلًا من التركيز حصريًّا على النفط، على المدى الطويل، أي في أفق عام 2050، فما ينبغي لنا النظر فيه هو مجموع الوقود الأحفوري بالكامل. بالفعل، لا سيما في ما يخص مجال النقل، نجد أن محطات تسييل الغاز GTL، أو تسييل الفحم CTL، وكهربة التنقل، تتمتع بقابلية كلية تقريبًا للاستبدال. ومن ثم، فإن الاحتياطيات التي ينبغي أخذها في الاعتبار، ولا سيَّما احتياطيات الفحم، هائلة. وهي، على أي حال، كبيرة جدًّا فيما يتعلق بقضية الرهان المناخي، وما يمكن أن يستوعبه الغلاف الجوي بلا ضرر كبير[9]؛ لأنه يجب أن نترك تحت الأرض نحو 30 في المئة من احتياطيات النفط، و50 في المئة من احتياطيات الغاز، و80 في المئة من احتياطيات الفحم، إذا كنا نود ألا نتجاوز هدف احتباس حراري لا يتجاوز درجتين مئويتين بحلول نهاية القرن (مقارنة بالمستوى ما قبل الصناعي). ولذلك فلن نواجه ندرة عالمية، ولكننا سنواجه مشكلات في التدفقات أو الاختناقات وفقًا للتوترات الجيوسياسية أو لنقص الاستثمار في الاستغلال الجديد للحقول.

أضف إلى ذلك أنه إذا التزم العالم، مع التنفيذ الفعلي لاتفاق باريس الذي أعقب "مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي عام 2015" COP21، بالانصراف عن الطاقات الأحفورية، مع طلب يتراجع، فإن سعر الطاقات الأحفورية ينبغي له أن ينخفض، لا محالة، في نهاية المطاف.

وأخيرًا، فإن القدرة التنافسية الجديدة لمصادر الطاقة المتجددة[10] تجعلها الوجهة الأولى للاستثمارات في قطاع الكهرباء منذ اليوم، ولكن ليس بعدُ في القطاعات الأخرى (التنقُّل، والحرارة... إلخ).

وعلى اعتبار أن "عدم استمرارية" الخيارات والحلول التكنولوجية البديلة هو بالأحرى القاعدة، فإن الصدمات والتوترات ستكون في الغالب هي السمة الاعتيادية لعالم الطاقة في العقود القادمة. بيد أنه

---

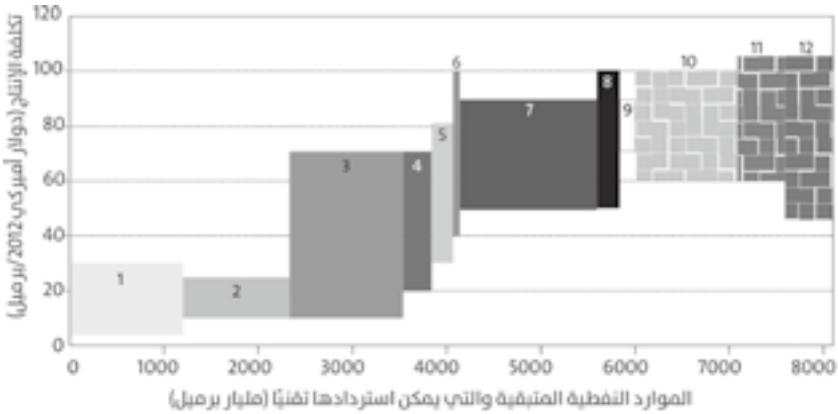
8 Jean-Marie Chevalier, "Le prix de l'énergie demain: Une analyse du système, des acteurs et des facteurs d'évolution," *Futuribles*, no. 416 (janvier-février 2017), pp. 5-21.

9 Christophe McGlade & Paul Ekins, "The Geographical Distribution of Fossil Fuels Unused when Limiting Global Warming to 2 °C," *Nature*, vol. 517, no. 7533 (8 janvier 2015), pp. 187-190.

10 Cf. International Renewable Energy Agency, *Renewable Power Generation Costs in 2014*, Rapport de l'IRENA (Abou Dabi: IRENA, 2015), accessed on 23/9/2016, at: https://goo.gl/ZG31A9

الشكل (2)

الموارد النفطية المتبقية وتكاليف الإنتاج



1. أُنتجت بالفعل 2. الشرق الأوسط وشمال أفريقيا 3. غيرها من النفط التقليدي
4. استرداد النفط المدعّم بمساعدة (حقن ثاني أكسيد الكربون)
5. استرداد النفط غير المدعّم بمساعدة (حقن ثاني أكسيد الكربون) 6. القطب الشمالي
7. النفط الثقيل والقيري 8. النفط الخفيف للخزانات المانعة للتسرّب 9. الحفر في المياه العميقة
10. الكيروجين 11. تسييل الغاز (GTL) 12. تسييل الفحم (CTL)

المصدر:

AIE, *Resources to Reserves* (Paris: AIE/OCDE, 2013).

من غير المرجح أن يحدث ارتفاع للأسعار على نحو مستدام، ومستمر، ومنتظم، إلا إذا تم تحديد سعر للكربون بصورة منهجية.

ثانيًا: النمو الاقتصادي ونمو الاستهلاك المادي: نحو فكّ ارتباط مطلق

ارتفع الناتج المحلي الإجمالي العالمي (بالأسعار الثابتة)، بين عامَي 1980 و2013، بنسبة 150 في المئة، بينما نما عدد سكان العالم بنسبة 55 في المئة تقريبًا، ونما استخراج الموارد بنسبة 130 في المئة، وفقًا لـتقديرات معهد بحوث أوروبا المستدامة[11]. يمكن، إذًا، أن نلحظ فصلًا نسبيًّا بين النمو الاقتصادي

11 "Global Material Extraction, GDP and Material Intensity, 1980-2013."

واستخراج المواد، وهو ما يُفسَّر خصوصًا بزيادة في الإنتاجية المادية (حجم الثروة المنتَجة بالنسبة إلى كل وحدة من المواد المستهلَكة) بنحو 40 في المئة، وانخفاض في الكثافة المادية (استهلاك المواد اللازم لإنتاج وحدة من الثروة) بنحو الثلث خلال ثلاثين عامًا. في عام 2000، كان العالم أقل احتياجًا إلى الموارد بنسبة 20 في المئة منه في عام 1980 لإنتاج الكمية نفسها من الثروات. ومع ذلك، ومنذ السنوات العشر الأخيرة، ازدادت الكثافة المادية من جديد على المستوى العالمي، على اعتبار أن الجهود المبذولة يعوِّضها السعي نحو النمو الاقتصادي، ولا سيَّما في البلدان النامية.

لمواجهة هذا الاتجاه، تثير إمكانية الفصل المطلق بين النمو الاقتصادي واستهلاك الموارد اهتمامًا متزايدًا. ويمكن تصوُّر ثلاث رافعات رئيسة لتحقيق هذا الفصل المطلق:

التقدم التكنولوجي

لقد أتاح التقدم التكنولوجي حتى اليوم إنتاج سلع وخدمات متضمِّنة موارد أقلَّ فأقل. ووفقًا لمعهد ماكينزي العالمي MGI، تستطيع التكنولوجيا توفير ما يعادل 3000 مليار دولار أميركي من الموارد سنويًّا بحلول عام 2030[12] بتحسين نجاعة معالجة النفايات، أو الحد من حجمها.

بيد أنه كثيرًا ما يجري تسليط الضوء على الإمكانات الكامنة للتقدم التقني لاستغلال موارد جديدة. وبالفعل، من الناحية النظرية، يؤدي نمو الطلب على مورد غير متجدِّد إلى ارتفاع سعره، فيجعل استغلال مصادر جديدة من هذا المورد، وغيره من الموارد ذات الخصائص المماثلة أمرًا مربحًا.

يفسر هذا المنطق، على سبيل المثال، استغلال الغاز الصخري في الولايات المتحدة منذ بضع سنوات. بيد أن إمكانات التقدم التكنولوجي تقدِّم مع ذلك حدودًا مختلفة؛ معلومات ناقصة بشأن الاحتياطيات وجودتها، والاستهلاك، والتأثيرات الجانبية المضاعفة الناتجة من استغلال الموارد البديلة، والتأثير الارتدادي Rebound Effect... إلخ.

إعادة التدوير

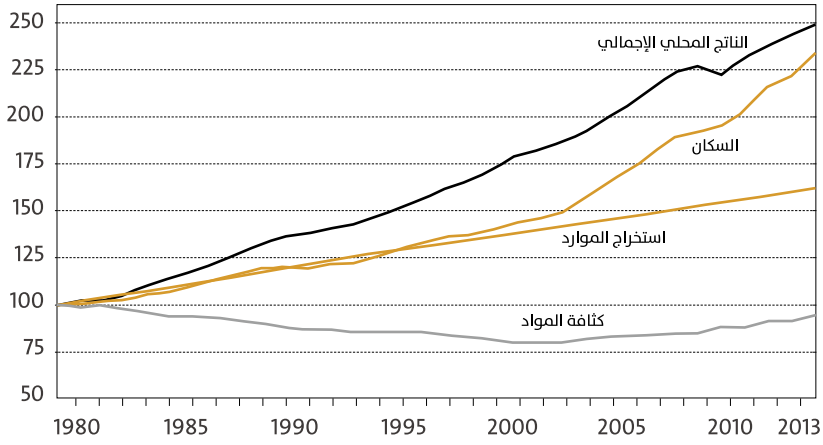
من الناحية النظرية، تساعد إعادة التدوير على الحد من استهلاك الموارد الطبيعية من خلال إعادة تدوير النفايات. ومع ذلك، فهي تقدِّم قيودًا عدة؛ أبرزها:

تزداد صعوبة كلما كانت كمية المواد المستخدمة قليلة، ومن ثم يصعب فرزها. وهذا ما يفسر جزئيًا، وفقًا لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، أن 36 من بين 60 من أكثر المعادن استخدامًا في الاقتصاد تقدم

12 Dobbs Richard et al., *Resource Revolution: Meeting the World's Energy, Materials, Food, and Water Needs* (San Francisco: MGI, 2011).

الشكل (3)

تطوّر الاستخراج العالمي للموارد، والناتج المحلي الإجمالي، وكثافة المواد، 1980-2013 (1980 = الأساس 100)



المصدر: Ibid.

معدَّلات إعادة التدوير أقل من 10 في المئة (بل حتى أقل من 1 في المئة بالنسبة إلى الإنديوم، والتنتالوم، والغاليوم، والمعادن الأرضية النادرة)[13]. وعلى حدِّ قول فيليب بيوي على نحو مبسَّط، "كلَّما كانت التكنولوجيا فائقة، كانت أقلَّ قابلية لإعادة التدوير"[14].

ليست مطلقة بالنسبة إلى أي مادة؛ لأنها تتسبَّب في تدهور المواد، وتأكلها على نحو لا مفر منه مع التكنولوجيات الحالية.

لا تقوم، في اقتصاد يعرف نموًّا، إلا بتأجيل موعد استهلاك الموارد. وفي هذه الحال، وكما يؤكد فرانسوا غروس، بالنسبة إلى المواد التي يتزايد معدل استهلاكها بنسبة أعلى من 1 في المئة، يكون الفارق الزمني منخفضًا جدًّا، ويجري إرجاء مواعيد الندرة بضع سنوات إلى الأمام فقط. ولتوضيح ذلك، لم يسمح الفولاذ المعاد تدويره خلال القرن العشرين سوى بانخفاض بنسبة 5.3 في المئة من إجمالي استخراج الحديد لإنتاج الصلب خلال القرنين الماضيين[15].

---

13 Andrew Bloodworth & Gus Gunn, "The Future of the Global Minerals and Metals Sector: Issues and Challenges out of 2050," *Geosciences: BRGM's Journal for a Sustainable Earth*, no. 15 (June 2012), pp. 90-97.

14 Philippe Bihouix & Benoît Guillebon (eds.), *Quel futur pour les métaux ? Raréfaction des métaux : un nouveau défi pour la société* (Les Ullis: EDP Sciences, 2010).

15 Grosse François, "La croissance quasi circulaire. Une approche pragmatique de la gestion durable des ressources naturelles non renouvelables," *Futuribles*, no. 403 (novembre-décembre 2014), pp. 59-72.

فك الارتباط بين النمو الاقتصادي ونمو الاستهلاك المادي: فكرة غير جيّدة على خلاف ظاهرها

هل يمثِّل الفصل المطلق بين النمو الاقتصادي واستهلاك الموارد في الواقع هدفًا مرغوبًا وواقعيًّا؟ يبدو المجال البحثي منقسمًا جدًّا بشأن هذا الموضوع:

- في عام 2011، أكّد الباحث البريطاني كريس غودال أن بريطانيا قد بلغت "ذروة استهلاكها" Peak stuff بين عامَي 2001 و2003. ومنذ ذلك الحين، ربما يكون حجم استهلاك البلاد بدأ في الانخفاض. ونتيجة لذلك، قد يكون حجم استهلاك البريطانيين تراجع في عام 2007 إلى مستواه عام 1989. ووفقًا للباحث، قد تكون هناك، إذًا، عملية فصلٍ دائم قيد العمل، ومن شأن ذلك أن يُفسَّر بالتقدم التكنولوجي، ولكن بنزع الطابع المادي أيضًا، وظهور قيم جديدة لدى الشباب ولدى سكان الحضر، والشيخوخة السكانية... إلخ.
- أما الباحث إلوا لوران فأشار إلى أن الاتحاد الأوروبي في الفترة 1996-2007، سجَّل انخفاضًا في انبعاثاته للغازات المسبِّبة للاحتباس الحراري، على الرغم من أن ناتجه المحلي الإجمالي قد ازداد خلال هذه الفترة نفسها.
- لاحظت وكالة الطاقة الدولية IEA أن الانبعاثات العالمية من ثاني أكسيد الكربون، في عامَي 2014 و2015، عرفت ركودًا، بينما ازداد الناتج المحلي الإجمالي بنسبة 3 في المئة.
- ومع ذلك، يرى باحثون آخرون أن هذه التحليلات تعاني وجهين رئيسين من أوجه القصور: الأول أنها لا تأخذ دائمًا في الحسبان آثار الاستبدال بين الموارد المحتملة (يمكن تعويض نقص معيَّن من مورد ما بزيادة في مورد آخر غير مأخوذ في الاعتبار)؛ والثاني أن هذه التحليلات لا تشمل دائمًا أثر نقل النشاطات الإنتاجية إلى بلدان أخرى، ولا الاختلافات الدورية لبعض أنواع الاستهلاك.

تبعًا لذلك، يذكِّرنا غايل جيرو، كبير الاقتصاديين في وكالة التنمية الفرنسية، بأن استهلاك الطاقة كان حتى اليوم ضروريًّا للنمو الاقتصادي، ولم يلحظ أي فصل بين هذين المؤشرين تاريخيًّا. لكن إذا لم يكن هنا ما يُلزِم نظريًّا باستهلاك الطاقة لتنمية مؤشِّر اقتصادي مثل الناتج المحلي الإجمالي، فإن عدم اليقين يظل قائمًا بدرجة عالية، خلال السنوات المقبلة، بالنسبة إلى البلدان الناشئة والبلدان الأكثر فقرًا وفقًا لنمط التنمية المتبع؛ نمط تنمية مطابق لنمط تنمية الدول الغربية، ومن ثم فهو شديد الكثافة في استخدام الموارد الناضبة؛ أو نموذج تنموي خاص بها، أكثر اقتصادًا في الموارد، وأكثر اتزانًا، وقائم بالأساس على مصادر الطاقة المتجددة والمحلية. وبالفعل، أصبحت الاحتياجات الطاقية (وبصورة أعم، الاحتياجات إلى الموارد الطبيعية) اللازمة في هذه البلدان لضمان تجهيزها وتنميتها شديدة الصلة بنمط التنمية الذي تتبعه.

وقد قدَّر الاقتصادي جون غادريه أن مفهوم فك الارتباط يفترض مواصلة التمسُّك بـ "قاعدة الناتج المحلي الإجمالي المقدَّسة"، على الرغم من أن الرهان الحقيقي هو الحد على نحو مستدام من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

ويدعونا مع ذلك إلوا لوران إلى عَدّ الفصل "شبكة قراءة مفيدة" يمكن الاستفادة منها في صيغ مؤشِّرات أخرى غير الناتج المحلي الإجمالي، مثل مؤشِّر الرَّفاه.

تطوُّر أنماط الحياة

بالنظر إلى محدودية التقدم التكنولوجي وإعادة التدوير، اهتمَّت بحوث حديثة عدة بالإمكانات الكامنة لأنماط الحياة للحد بشكل كبير من استهلاك الموارد والتأثيرات الجانبية المضاعفة المرتبطة بها، من دون المساس بالراحة وبالرفاه. وهذا يفترض أن يجري توزيع الجهود توزيعًا عادلًا بين الأسر وفقًا لإمكاناتها وهوامش مناورتها. وقد برز اليوم تطور أنماط الحياة بوصفه مُكمِّلًا لا غنى عنه للتقدُّم التكنولوجي، وإعادة التدوير، والاستثمارات العامة والخاصة (ولا سيَّما في السكن والنقل).

وتبدو في الوقت الحالي فرضية الفصل بين النمو الاقتصادي واستهلاك الموارد فرضية نظرية جدًّا. ومع ذلك، تُسلِّط عليها الضوء وتدفع بها نماذج التنمية البديلة التي تتمثَّل في "الاقتصاد الدائري" أو "اقتصاد

الاستخدامات"[16]. ولكي تصبح حقيقة واقعة، فإنها تفترض أن ثلاث رافعات (التقدم التكنولوجي، وإعادة التدوير، وتغيير أنماط الحياة) يجري تفعيلها في آنٍ واحد، ويجري ربطها بالتغييرات التنظيمية وبتسعير التأثيرات البيئية الجانبية المضاعفة (ولا سيَّما الضرائب البيئية).

أي آثار نظامية ولا رجعة فيها مرتبطة بتدهور الموارد؟

يُولِّد استهلاك الموارد الطبيعية عددًا من التأثيرات الجانبية المضاعفة: التلوث، والتغير المناخي، وتدهور النظم الإيكولوجية (التربة، والمياه السطحية، وتحمُّض المحيطات... إلخ). وينعكس مزج هذه التأثيرات أيضًا في ظهور آثار نظامية مقلقة على نحو خاص. في عام 2009، قام فريق دولي يتكون من 26 باحثًا بتحديد تسعة "حدود كوكبية" لا ينبغي تجاوزها إذا كانت البشرية تود أن تكون قادرة على تطوير نظام بيئي آمن، أي نظام بيئي يتجنَّب التغيرات البيئية المفاجئة التي يصعب التنبُّؤ بها[17]. وقد رأوا أن العتبات الحرجة قد جرى تجاوزها بالنسبة إلى ثلاثة من بين سبعة حدود يقترحون بالنسبة إليها قيمًا حدِّية، من حيث الحجم المنبعث أو المستخرج من البيئة.

وفي عام 2015، أجرى هؤلاء الباحثون تحيينًا لأعمالهم، وخلصوا إلى أن أربعة "حدود كوكبية" قد جرى اليوم تجاوزها، أو أوشك[18]. وهذه الحدود الأربعة هي:

- التغير المناخي: كان الحد الذي اختاره الباحثون هو ذاك الذي من شأنه أن يسمح بعدم تجاوز عتبة ارتفاع درجة الحرارة بقدر أكبر من درجتين مئويتين بقياس سيلسيوس (مقارنة بدرجات الحرارة خلال الفترة ما قبل الصناعية)، وهذا هو الهدف المناخي والسياسي اليوم.
- سلامة المحيط الحيوي: يمكن تحديد معدل الانقراض "الطبيعي" للأجناس الحية في 10 أنواع من أصل مليون نوع سنويًّا. وهكذا، قد يكون معدل الانقراض العالمي الحالي أعلى من المعدل الطبيعي بـ 10 مرات إلى 100 مرة. ولهذه الانقراضات تأثيرات كبرى في النظم الإيكولوجية والوظائف التي لم تعد تؤدِّيها الأنواع المنقرضة.
- التغيرات في استخدامات الأراضي: لاحظ الباحثون أنه من أجل الاستمرار في التمتُّع بفوائد الغابات في تنظيم المناخ، ينبغي زيادة مساحاتها، وخصوصًا الغابات الاستوائية والشمالية.
- اضطراب الدورات البيولوجية - الكيميائية (النيتروجين، والفوسفور): ينجم تغيير دورات النيتروجين والفوسفور في التربة عن الزراعة وتربية المواشي المكثَّفتَين على وجه الخصوص؛ فاستخدام الأسمدة

---

16 "الاقتصاد الدائري" Circular economy هو مفهوم اقتصادي ضمن برادايم التنمية المستدامة يقوم على إعادة التدوير، وعلى نموذج للاقتصاد يعمل في حلقة دائرية تستغني عن مفهوم النفايات؛ أما "اقتصاد الاستخدامات" Product-service system فيعني بيع استخدام سلعة معيَّنة وليس السلعة نفسها.

17 Johan Rockström et al., "Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity," *Ecology and Society*, vol. 14, no. 2 (2009).

18 Steffen et al.

والسماد من الإنتاج الحيواني يساهم في تعطيل هذه الدورات التي تُعَد شرطًا ضروريًّا حتى تكون التربة والمياه في حالة جيدة. وفي حين أنه تمَّ بالفعل بلوغ الحد الأقصى بالنسبة إلى النيتروجين في عام 2009، فإن هذا الحد قد تم تجاوزه اليوم أيضًا بالنسبة إلى الفوسفور، ولكن مع وجود اختلافات كبيرة بين المناطق.

لم يجر حتى الآن تجاوز ثلاثة حدود كوكبية: استخدام المياه العذبة، وتناقص طبقة الأوزون بالغلاف الجوي، وتحمُّض المحيطات، بينما يتعذر حتى الآن قياس عنصرين كميًّا بسبب نقص البيانات؛ وهما: مؤشِّر سلامة المحيط الحيوي (ودورها في النظم الإيكولوجية)، والحد الأقصى المرتبط بتركيز هباء الغلاف الجوي (الحد الثامن).

يتعلق الحد التاسع بنشر "كيانات جديدة" في البيئة (مثل الجزيئات الاصطناعية، والجزيئات النانوية... إلخ)، وهي التي قد يكون لها عواقب بيولوجية و/ أو جيوفيزيائية غير مرغوب فيها. ويظل أثرها البيئي، المعقَّد للغاية في الغالب مجهولًا إلى حدٍّ بعيد؛ فالباحثون يَعدُّون أنفسهم غير قادرين على وضع حد عالمي لهذه المواد، ولكنهم يَدعون إلى مراقبتها عن كثب والحد من استخدامها قدر الإمكان.

ووفقًا للباحثين، إذا تم تجاوز الحدود المرتبطة بالتغيُّر المناخي وتأكُّل التنوُّع البيولوجي بقدر كبير وعلى نحو متواصل، فيمكن لذلك أن "يقود النظام الأرضي إلى وضع جديد" من شأنه أن يكون مدمِّرًا للكوكب الأرضي ولسكانه. كما يُذكِّرون بأنه لا ينبغي الاستهانة بتفاعل هذه الحدود فيما بينها، وبالقصور الذاتي في النظم الطبيعية. من أجل ذلك، حتى لو توقَّفت حالًا الانبعاثات العالمية من الغازات المسبِّبة للاحتباس الحراري، فمن شأن تركيز غازات الدفيئة المنبعثة سلفًا في الغلاف الجوي أن يكون كافيًا للإخلال بالمناخ دائمًا.

ثالثًا: الاتجاهات الرئيسة في المستقبل

القصور الذاتي للأنظمة الطاقية

مهما كانت احتمالات القطيعة التي وعدت بها بعض التكنولوجيات، ووعد بها خصوصًا المستثمرون في هذه التكنولوجيات، ينبغي لنا أن نضع في الاعتبار الأطر الزمنية للنظام الطاقي، ولا سيَّما فيما يتعلق بكثافة رأس المال، وبعناصر مخفية أيضًا مثل الأشكال الحضرية أو التخطيط العمراني.

وفيما يتعلق بإنتاج الطاقة أو تحويلها، فلمحطات توليد الطاقة الكهربائية أعمار تراوح بين 30 و60 عامًا؛ في حين تُبنى البنيات التحتية لنقل الطاقة (الكهرباء، والغاز... إلخ) لمدة تزيد على 50 عامًا.

ومن جانب المستهلك، لا يكاد تجديد المناطق الصناعية والتقنيات المختلفة يكون أسرع. وهكذا نجد في فرنسا، على سبيل المثال، أن المباني التي تتميز بكثافة الطاقة إلى حد بعيد، لأن غالبيتها العظمى بُنِيت قبل وضع ضوابط للتنظيم الحراري، لها أعمار تُقدَّر بنحو قرن من الزمان. في حين يمكن أن يكون هذا الأمد أقصر في الولايات المتحدة أو اليابان، ولكنه لا يزال يمثِّل مع ذلك بضعة عقود على أقل تقدير. وفضلًا عن

الشكل (4)

الوضع الحالي لمتغيرات التحكُّم في سبعة من الحدود الكوكبية التسعة

باللون الغامق، يجري تمثيل مجالات العمل الآمنة، تحت مستوى الحدود الكوكبية. وباللون الفاتح، مجالات عدم اليقين (مخاطر متزايدة). وباللون الأسود، المجالات ذات المخاطر العالية. يقع الحد الكوكبي عند تقاطع المناطق ذات اللون الغامق والمناطق ذات اللون الفاتح. وقد جرى توحيد متغيرات التحكم بالنسبة إلى منطقة عدم اليقين؛ ومن ثمّ، لا يمثِّل مركز الشكل القيم الصفرية لمتغيرات التحكم. متغير التحكم في التغير المناخي هنا هو تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. والمناطق الفاتحة هي تلك المناطق التي لا يمكن فيها حتى الآن تكميم الحدود على الصعيد العالمي (تركيز الهباء الجوي في الغلاف الجوي، والكيانات الجديدة، والدور الوظيفي لسلامة المحيط الحيوي).

التغير المناخي، الكيانات الجديدة، انخفاض طبقة الأوزون بالغلاف الجوي، تركيز الهباء الجوي في الغلاف الجوي، تحمُّض المحيط، الدورات البيوكيميائية، سلامة المحيط الحيوي، تعديل استخدامات الأراضي، استهلاك المياه العذبة، التنوع البيولوجي، التنوع الوظيفي، الفوسفور، النتروجين.

المصدر:

Steffen Will et al., "Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet," *Science*, vol. 347, no. 6223 (13 février 2015).

ذلك، قد يطرح التجديد المتسارع إشكالات أخرى بشأن الموارد أو النفايات؛ ففي مجال التنقُّل، يستغرق التجديد الكامل لأسطول من 35 مليون مركبة في فرنسا أكثر قليلًا من 15 عامًا. أما البنية التحتية للطرق، فلها متوسط عمر يمتد ثلاثة عقود. وفي قطاع السكك الحديدية، يمتد متوسط الأعمار فترة أطول، ويصل إلى 30 أو 40 سنة بالنسبة إلى القطارات، و30 أو 50 سنة بالنسبة إلى السكك.

وعمومًا، يتم تجديد الأجهزة المنزلية في المتوسط بعد عشر سنوات. تعرف المعدات الرقمية فقط معدلات أسرع بكثير في التجديد، على حساب استهلاك الموارد والمواد النادرة، وبتكلفة التلوُّث المتعلقة بالنفايات الإلكترونية.

وهكذا، ما إن تصبح تكنولوجيا معيَّنة جاهزة على المستويين التقني والاقتصادي، فإنها سوف تستغرق عقودًا لتُنشر على نطاق واسع في النظام الطاقي. وسيكون تأثيرها أكثر محدودية وممتدًّا في الزمن بقدر ما تكون جميع المعايير مواتية (التنظيم، والضرائب، والقدرة الصناعية، والسمعة الجيدة لدى المستهلكين... إلخ).

وأخيرًا، يُضاف القصور الذاتي لأنماط احتلال الفضاء (التحضر، والتخطيط العمراني) إلى إيقاع انتشار هذه التكنولوجيات، ويمكنه أن يقود إلى الاعتماد على تكنولوجيات معينة والتبعية لها (مثل السيارات الخاصة في المناطق السكنية، والنقل الجماعي في المدن الكثيفة... إلخ).

بدائل ممكنة للطاقات البديلة

قابلية الاستبدال بين الطاقات الأحفورية (النفط، والغاز، والفحم) متاحة تقنيًّا؛ لكن تقلُّب الأسعار يبقى عنصرًا يعوق الاستثمارات والتطورات البديلة. ومن شأن هذه القابلية للاستبدال أن تساعد في التحرر من مخاطر الندرة البنيوية، على الأقل حتى نهاية القرن (انظر الجزء المخصَّص لأسعار الطاقة)؛ بيد أنها لا تستطيع بالتأكيد أن تزيل تحدي التغير المناخي وغيره من الأضرار البيئية الناتجة من هذا "النشاط الزائد"[19]. وليست تقنية "عزل الكربون"[20] التي لم تُنشر بعد على نطاق واسع، هي التي سوف تغيِّر الوضع بشأن المعدّات الموجودة والانبعاثات المنتشرة على نطاق واسع (في البناء، والنقل).

أما الطاقة النووية، وفي ظل ثبات الوضع التكنولوجي، فاحتياطياتها محدودة بقدر أكثر ولا شك، ومن شأن زيادة ملموسة في عدد المفاعلات العاملة في جميع أنحاء العالم أن تواجَه بمشكلات تتعلق بتوافر اليورانيوم على المدى القصير جدًّا[21]. من الناحية النظرية، ما زال من الممكن مع ذلك الانتقال إلى مفاعلات الثوريوم أو مفاعلات الجيل الرابع. وهذا يعني "تغيير التكنولوجيا"، مع المخاطر التي ينطوي عليها ذلك، خصوصًا فيما يتعلق بالبلوتونيوم، وبالقصور الذاتي الذي ينبغي أخذه في الاعتبار من أجل إطلاق هذا البرنامج (إدارة نهاية حياة المفاعلات، ووقف تشغيل المرافق الحالية، وتدريب الموارد البشرية، وتطوير النموذج الأولي، والإنتاج على نطاق واسع... إلخ).

---

19 Naomi Klein, *Tout peut changer: Capitalisme et changement climatique* (Arles/ Montréal: Actes Sud/ Lux, 2015), pp. 117-119.

20 "عزل الكربون" Carbon sequestration هو عملية احتجاز الكربون والتخزين الطويل الأجل لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وقد جرى اقتراح ذلك بوصفه وسيلةً لإبطاء تراكم الغازات الدفيئة التي تنبعث من حرق الوقود الأحفوري في الغلاف الجوي والبحري.

21 Michael Dittmar, "La fin de l'uranium bon marché," in: Ugo Bardi, *Le Grand Pillage: Comment nous épuisons les ressources de la planète* (Paris: Les Petits Matins/ Institut Veblen, 2015), pp. 109-111.

ومن شأن الطاقات المتجدِّدة أن تتولَّى البدل في المستقبل. ولكن مع ذلك، يستلزم التقاط الطاقة الشمسية، والطاقة المائية، وطاقة الرياح، كميات كبيرة من المواد، حتى إنها أحيانًا ما تفوق الكميات اللازمة للتقنيات التقليدية/ الأحفورية بالنسبة إلى كل وحدة إنتاج. أضف إلى ذلك الشبكات "الذكية" مع مجموعة أجهزة الاستشعار التي ينبغي تطويرها؛ أي إن دعامة النظام الطاقي المتجدد إلى حدٍّ بعيد يمكنها نقل المشكلة من مشكلة ندرة أو تلوث إلى مشكلة أخرى فحسب. وهكذا، ووفقًا لبعض السيناريوهات الطموحة بشأن التطوير المستقبلي للطاقات المتجددة، سوف يلزم من ستة إلى سبعة أضعاف الإنتاج العالمي الحالي من الصُّلب لتلبية احتياجات قطاع الطاقة وحده في عام 2050[22]. وهذا، خصوصًا، هو السبب الذي يشرح لماذا لم تزل السيطرة على الطلب على الطاقة (البساطة، والنجاعة) مكوِّنًا مهمًّا للاستهلاك المستدام، ولمزيج طاقي متجدِّد إلى حد بعيد.

22 Olivier Vidal, Bruno Goffé & Nicholas Arndt, "Metals for a Low-Carbon Society," *Nature Geoscience*, vol. 6 (2013), pp. 894-896.

References المراجـع

- AIE. *Resources to Reserves*. Paris: AIE/OCDE, 2013.
- Bardi, Ugo. *Le Grand Pillage*: *Comment nous épuisons les ressources de la planète*. Paris: Les Petits Matins/ Institut Veblen, 2015.
- Béatrice, Madeline. "La ruée vers les métaux." *Le Monde Économie* (12 septembre 2016).
- Bihouix, Philippe & Benoît Guillebon (eds.). *Quel futur pour les métaux*? *Raréfaction des métaux*: *un nouveau défi pour la société*. Les Ullis: EDP Sciences, 2010.
- Blanc, Isabelle et al. "L'empreinte écologique: Un indicateur ambigu." *Futuribles*. no. 334 (octobre 2007).
- Bloodworth, Andrew & Gus Gunn. "The Future of the Global Minerals and Metals Sector: Issues and Challenges out of 2050." *Geosciences*: *BRGM's Journal for a Sustainable Earth*. no. 15 (June 2012).
- Chevalier, Jean-Marie. "Le prix de l'énergie demain: Une analyse du système, des acteurs et des facteurs d'évolution." *Futuribles*. no. 416 (janvier-février 2017).
- Désaunay, Cécile. "Peak stuff: l'incertitude est confirmée." *Note de veille* (17 octobre 2013). Futuribles International. at: https://goo.gl/vW72jv
- "Decoupling of Global Emissions and Economic Growth Confirmed." AIE (16 mars 2016). at: https://goo.gl/Bw7XPv
- Dobbs, Richard et al. *Resource Revolution*: *Meeting the World's Energy, Materials, Food, and Water Needs*. San Francisco: MGI, 2011.
- Giraud, Pierre-Noël. "Ressources ou poubelles?." *Le Débat*. no. 182 (novembre-décembre 2014).
- Grosse, François. "La croissance quasi circulaire. Une approche pragmatique de la gestion durable des ressources naturelles non renouvelables." *Futuribles*. no. 403 (novembre-décembre 2014).
- Klein, Naomi. *Tout peut changer*: *Capitalisme et changement climatique*. Arles/ Montréal: Actes Sud/ Lux, 2015.
- Laurent, Éloi. "Faut-il décourager le découplage?." *Revue de l'OFCE*. no. 120 (2011). OFCE (Observatoire français des conjonctures économiques). at: https://goo.gl/YCwTdq
- McGlade, Christophe & Paul Ekins. "The Geographical Distribution of Fossil Fuels Unused when Limiting Global Warming to 2 °C." *Nature*. vol. 517. no. 7533 (8 January 2015).
- OCDE. "Green Growth Indicators." at: https://goo.gl/QRg1Cc

- _____. *Productivité des ressources dans les pays du G8 et de l'OCDE*. Rapport établi dans le cadre du Plan d'action 3R de Kobe. Paris: OCDE, 2011.
- Rockström, Johan et al. "A Safe Operating Space for Humanity." *Nature*. vol. 461 (September 2009).
- _____. "Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity." *Ecology and Society*. vol. 14. no. 2 (2009).
- Steffen, Will et al., "Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet." *Science*. vol. 347. no. 6223 (February 13, 2015).
- Vidal, Olivier, Bruno Goffé & Nicholas Arndt. "Metals for a Low-Carbon Society." *Nature Geoscience*. vol. 6 (2013).