Zeitschrift: Archives des sciences [2004-ff.]

Herausgeber: Société de Physique et d'histoire Naturelle de Genève

Band: 60 (2007)

Heft: 1

Artikel: Environnement et développement durable en Suisse : confédération, cantons et zones métropolitaines

Autor: Greppin, Hubert / Degli Agosti, Robert / Priceputu, Ana Maria

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738411

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Environnement et développement durable en Suisse:

confédération, cantons et zones métropolitaines+

Hubert GREPPIN* [1,2], **Robert DEGLI AGOSTI** [1,2,3,4], **Ana Maria PRICEPUTU** [1,5]

Ms received 7.11.2006, accepted 3.3.2007

Abstract

Environment and sustainable development in Switzerland: confederation, states and metropolitan zones. – *The ecological footprint and local biocapacity of the different states and the 5 metropolitan zones of Switzerland is presented. An important diversity and heterogeneity is apparent. This adds to the complex Swiss climatic pattern that is currently under change. The achievement of a global and local sustainable development will need new adaptations both at the institutional level and for the scientific approach of this territorial and economic reality (confederation, states, metropolitan areas, cities), as well as with the dynamics of the private economical sector, if one wants to eliminate growing socio-economical disparities and not to worsen the state of the environment.*

Key-words: *Sustainable development, ecological footprint, territory, economical, political and environmental heterogeneity*

Résumé

Une évaluation de l'empreinte écologique et de la biocapacité locale, selon Wackernagel, a été faite pour les différents cantons suisses et pour cinq zones métropolitaines. Une grande diversité et hétérogénéité de situation est apparue qui s'ajoute à la diversité des conditions climatiques en Suisse, suite au changement climatique en mouvement. La mise en œuvre d'un développement durable, à la fois local et global, nécessite au niveau institutionnel, de même que dans l'approche scientifique de cette réalité territoriale et économique (confédération, cantons, métropoles, villes), des adaptations nouvelles, de même que dans la relation avec la dynamique économique privée, si l'on veut éviter de renforcer les disparités socio-économiques et aggraver l'état de l'environnement.

Mots clefs: *Développement durable, empreinte écologique, territoire, hétérogénéités économiques, politiques et environnementales*

+ Nous dédions cet article à la mémoire de feu Gonzague Pillet, à la fois chercheur, professeur, entrepreneur commercial privé, conseiller d'édition dans le domaine de l'environnement et de son interface avec les activités socio-économiques. Il a été actif, tant en Suisse (Université de Fribourg, Sociétés écologiques) qu'à l'étranger (Egypte, Maghreb, etc) où la pertinence et la qualité de son travail ont été très appréciées.

* Adresse pour correspondance: *Prof H. Greppin, Département de botanique et biologie végétale, 30 Quai Ernest-Ansermet, CH-1211 Genève 4* - Hubert.Greppin@bioveg.unige.ch

[1] *Département de Botanique et Biologie végétale, Université de Genève*

[2] *Centre Universitaire d'école humaine et des sciences de l'environnement, CUEH, Université de Genève*

[3] *Faculté des Sciences, Université de Genève*

[4] *Laboratoire de Physiomatique végétale, UniGE - HES-SO (EIG, EIL)*

[5] *Maison internationale de l'Environnement, Genève*

Introduction

Le champ planétaire

Depuis que la vie existe sur terre (~3,8.10^9 ans), une coaction permanente est en œuvre avec le milieu physique, chimique et géologique, *capable de s'autoréguler*, ainsi qu'entre les êtres vivants et les espèces (*régulation biologique et écologique*) (Bartlein et Prentice 1990; Budyko 1986; Cocks 1981; Crowley et North 1991; Gorshkov, Gorshkov, Makarieva 2000; Greppin, Degli Agosti, Penel 1998; Taube 1985). Ces mécanismes régulateurs se déroulent sur différentes échelles de temps et d'espace: du court terme au multiséculaire, du local à l'ensemble de la planète. D'une part, cela s'est traduit par une accommodation permanente élastique et plastique du vivant, complétée par la régulation épigénétique, ainsi que dans le temps, par une transformation évolutive adaptative par voie génétique et reproduction sexuée (apparition et disparition de mutants et d'espèces diverses: *bioespace génétique*) et, d'autre part, la modulation du climat terrestre et de l'environnement (*écoespace*) par l'activité et la production du vivant pour mieux s'y installer; ceci *dans les limites du fonctionnement de la logique planétaire et climatique intrinsèque*, susceptible de permettre au vivant d'exister et d'exprimer son message génétique: *l'environnement, selon son état et sa plasticité, déterminant au final la présence, la viabilité de toutes les espèces (effet de matrice).*

Cette co-régulation hiérarchisée a contrôlé, depuis l'origine de la vie, la différenciation et l'expansion de biomasses et de biomes spécifiques, et l'installation d'un développement durable global, à travers la vie et la mort des individus et des espèces, sans cesse renouvelées, l'évolution et l'extension d'écosystèmes coadaptés aux diverses conditions du milieu environnant (état stationnaire, hors de l'équilibre thermodynamique et évoluant en fonction du climat dans les limites biocompatibles. *Biologisation de la planète*) (Brooks et Wiley 1986; Greppin, Bonzon, Degli Agosti 1993; Greppin et Priceputu 2002; Jablonka et Lamb 1995; Lamprecht et Zotin 1985; Prigogine 1967; Ramade 1994; Rambler, Margulis, Forster 1989; Thellier et Ripoll 1992; Schnakenberg 1977).

Dans ce bio-et éco-espace dynamique de contraintes équilibrées est apparue l'espèce humaine dont les individus semblables à nous-mêmes existent depuis ~300 000 ans (Homo sapiens sapiens) (Coppens et Picq 2002; Langaney et al. 1998). Le développement du fait culturel humain s.l. sur un support biologique et physique qui le constitue et l'entoure (*enveloppe*), a introduit *une troisième logique de régulation* et des libertés nouvelles, permettant une *autonomie très élargie* par rapport au fatum de l'environnement naturel et ses contraintes impératives issues des deux autres logiques; ceci grâce à *l'anthropisation de la planète*, par le biais de l'intelligence réflexive, la liberté de décision et d'action, le langage et le médiatique, la capacité de mémoire, d'apprentissage, d'innovation et de créativité, une méthodologie et technologie spécifiques et une organisation en sociétés originales, soit la mise en œuvre spécifique et nouvelle de la matière, de l'énergie, de l'information, de l'espace-temps (outils, machines, usines, villes, etc) et des êtres vivants (bactéries, champignons, végétaux , animaux), etc. Le but étant de satisfaire avec sécurité des besoins physiologiques élémentaires (boire, manger, dormir, se reproduire, se protéger de

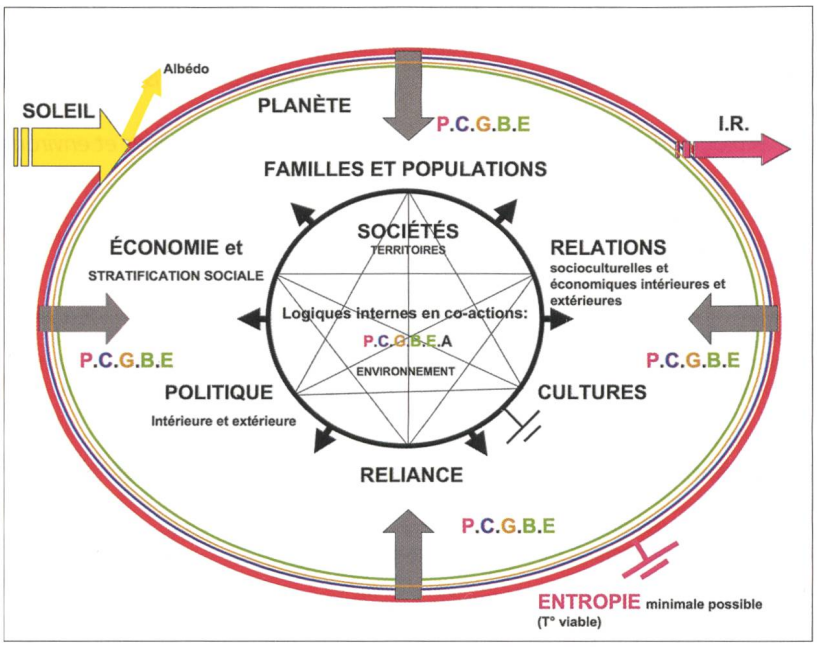


Fig. 1: Schéma des champs en présence dans l'espace planétaire terrestre. P.C.G;B.E.: application de trois systèmes de logiques indépendantes: physique, chimique, géologique, et biologique, écologique versus les logiques sociétales anthropiques (A.) et leurs enjeux viables (équilibre démographique dynamique; économie durable; systèmes démocratiques; capacité d'accepter l'autre et de vivre ensemble; système de territoires et d'environnements à la fois intégrés pour la durabilité et autonomes quant à la culture déterminant le sens de la vie collective et individuelle). Selon Bassand (2004), modifié. I.R.: rayonnement infrarouge.

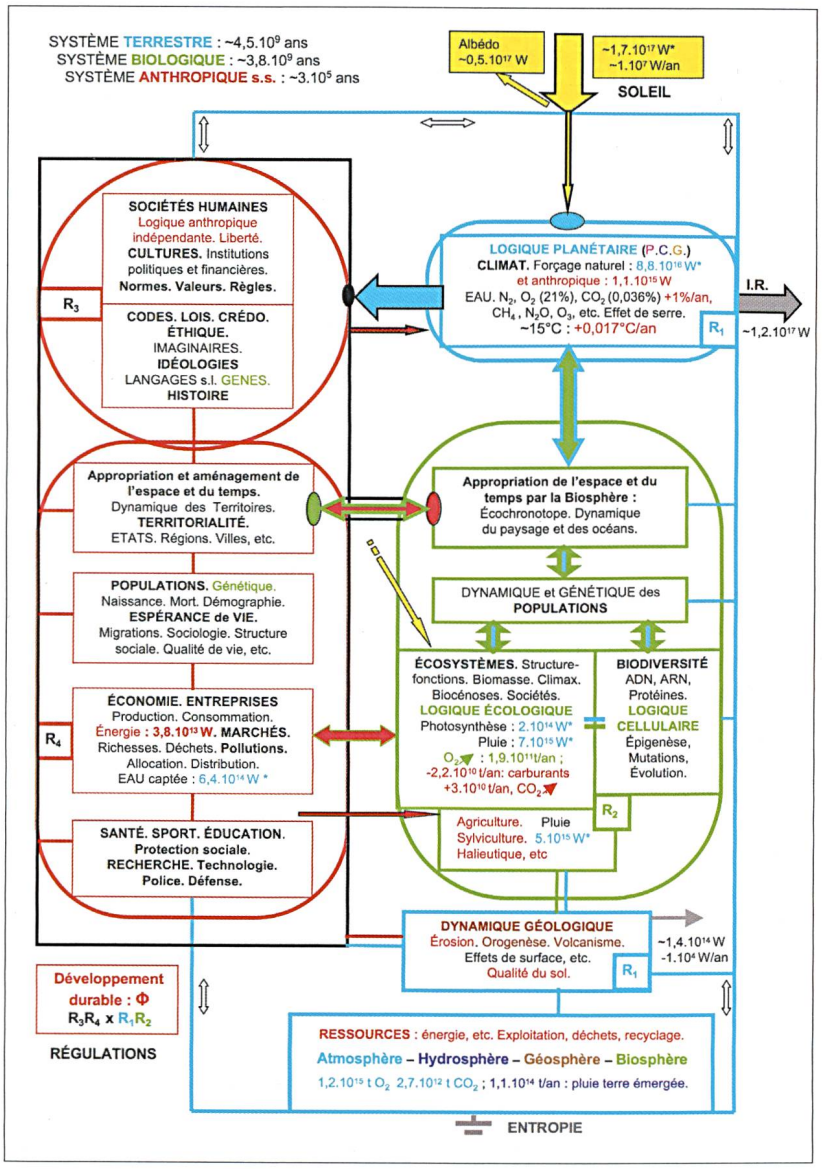


Fig.2: Schéma intégrant les trois logiques en action sur la planète et déterminant une enveloppe de viabilité encadrant et limitant le mode d'expression des cultures humaines dans leur relation avec la biosphère et les propriétés physiques, chimiques et biologiques terrestres. Ri: régulations

l'environnement inerte et vivant), mais essentiellement de *créer et différencier* un *espace territorial et culturel* (hors de la norme naturelle qui a cours pour le reste de la planète), donnant du sens à l'existence des sociétés et des individus et une certaine maîtrise de leur futur. Ainsi est apparu une autonomie intrinsèque unique accompagnée de sa propre régulation et finalité pour ce faire (*logique anthropique*) (Hussy 2002; Raffestin 1980, 1986a, b). Ce champs culturel (cf Fig. 1) s'exprime à travers des propriétés et des activités diverses, transformant spécifiquement l'environnement qui en est le support et le pourvoyeur de ressources, lesquelles font que nous existons à la fois dans la Nature et hors de celle-ci par nos artefacts (*notre signature culturelle*). Des limites, enveloppant nos libertés, sans les déterminer directement, existent toutefois (cf Fig. 2) en raison de notre dépendance de l'écoespace et de ses ressources ainsi que notre fondement naturel, physique et biologique (température, eau douce, nourriture, énergie, surface, propriétés cellulaires, etc.), celles-là peuvent être analysées à l'aide de *variables sentinelles* et ainsi nous permettre, selon le sens de leur évolution, une orientation globale de nos activités de manière durable dans la donne planétaire, même aménagée par nos soins.

Cette capacité d'aménagement nouvelle de l'activité socioculturelle et économique humaine, associée à *la transformation incessante de l'espace en territoire et du temps en histoire*, sont à la base de la sensation d'exister et d'être libre, hors du spectacle que nous donne la Nature dans son déroulement obligé et téléonomique. De cette maîtrise de l'espace-temps et de l'amélioration, sur le long terme, des conditions de vie en développement de confort et de sécurité, est résulté la croyance que la nature n'a pas d'existence en soi et ne peut donc réagir à nos actions (chose inerte et vivante), d'où un statut juridique et économique faible.

La montée en puissance

C'est en raison de notre faible capacité de puissance et de nuisance pendant des millénaires (cf Table 1), sauf quelques effets très localisés dans l'espace-temps (Diamond 2005; Ruddiman 2001; Turner et al.1990), que nous devons de n'avoir pas subi la réponse régulatrice naturelle de la planète: ce qui n'est plus le cas actuellement, agissant de plus en plus à la hauteur des mécanismes régulateurs régionaux et globaux, physiques et biologiques (Farvar et Milton 1972; IPCC 2001; Lenton et al. 2006; PNUE 2006; PNUE 2007, Global Environment Outlook 4;Weart 2003).

SYSTÈMES hors de l'équilibre	PUISSANCE SPÉCIFIQUE	PUISSANCE TOTALE
1. SOLEIL	$2{,}1.10^{-4}$ W/kg	$4{,}2.10^{26}$ W
2.a. TERRE + Sa Effet de serre naturel	$2{,}0.10^{-8}$ W/kg	**$1{,}2.10^{17}$ W** **$8{,}8.10^{16}$ W**
2.b. TERRE, Q. int. (Orogenèse, etc)	$2{,}3.10^{-11}$ W/kg	**$1{,}4.10^{14}$ W**
3. BIOSPHERE, phot. eau douce	~0,7 W/kg sec 60 W/kg sec	**2.10^{14} W** 7.10^{15} W
4.a. HUMAIN	~4.W/kg sec	9.10^{11} W
4.b. H. ECONOMIQUE eau captée Agriculture, eau pluie Effet de serre anthropique	~2.10^{2} W/kg sec 3.10^{3} W/kg sec 2.10^{4} W/kg sec	**$3{,}8.10^{13}$ W** $6{,}4.10^{14}$ W $2{,}8.10^{15}$ W **$1{,}1.10^{15}$ W**
4.c. Humains (1800): bois 4.d. Humains (30 000 ans)		**$3.8.10^{11}$ W** **4.10^{8} W**

Table 1. Puissance spécifique énergétique et contrôle de l'environnement par les trois logiques. Biosphère (~1,8.10^{12}t sec; ~1,2.10^{7} espèces; ~10.^{30}cellules; ~10^{44} bits): contrôle par l'information génétique et épigénétique (taux d'évolution de la biosphère: ~1 bit/seconde). Anthroposphère: contrôle culturelle et économique (taux d'évolution: 10^{7} bits/seconde). Sa: énergie solaire absorbée. Phot: photosynthèse. Q.in.: énergie interne terrestre, radiogénique. Soleil: 1,99.10^{27} t. Terre: 5,98.10^{21} t.

Le développement durable.

La montée en puissance de la capacité et activité humaines sur la plus grande partie de la surface planétaire et les nombreuses perturbations apportées, dont la perspective d'un changement dans la distribution des divers types de climats et d'une hausse de la température moyenne de la planète, font que le concept de développement durable (Jakubec 2004; WCED 1987) est devenu un leitmotiv de plus en plus prioritaire dans la réflexion politique et institutionnelle, tout en éludant, au vu de la complexité du sujet et des conséquences qui peuvent en découler, une approche fondamentale et frontale, cherchant dans l'immédiat le plus petit accord commun pour le plus grand nombre possible de nations. Cette approche est fondée sur la nécessité des quelques 200 pays du globe terrestre d'avoir des échanges multilatéraux (ressources environnementales s.l., biens et services économiques divers, circulation de personnes et de capitaux, entraide, etc.), *le maintien de chacun d'entre eux dans une stricte autarcie* serait en général plus limitant et discriminant (démographie, nourriture, énergie, etc.), avec le risque d'une moindre stabilité relationnelle globale. On espère aussi que, petit à petit, face à des ennuis majeurs récurrents et des perspectives de risques grandissant, l'impensable culturel devienne acceptable (l'autarcie planétaire dans sa globalité étant une réalité qu'on ne peut pas ignorer, de même que les conséquences qui en découlent, à long terme, pour l'ensemble de l'espèce humaine).

En fait, seule une approche systémique (Le Moigne 1991) associée à un inventaire et une *analyse compartimentale* (Atkins 1973) exhaustifs (régions, pays, planète) de l'ensemble des flux, de toute nature, entrant et sortant et leur régulation et ordre d'action, de même que l'observation des transformations induites dans chaque compartiment de ce vaste *multistat dynamique et hiérarchisé* (Ashby 1956), en coaction permanente et recherche de rééquilibres (jeux d'un réseau de multiples interactions et rétroactions négatives et positives: couplage, découplage; de servomécanismes divers, etc.), devraient pouvoir guider la recherche d'un développement multi-compartimenté, durable et hétérogène, en évolution permanente, dans les enveloppes régulatrices permises par l'application des trois logiques, les deux premières limitant sur notre planète les libertés de la troisième (Ambio 1994; Baark et Svedin 1988; Bourg 1993; Bürgenmeier, Greppin, Perret 2007; Dasgupta et Mäler 2004; Edwards et al. 2005; Faucheux et Noël 1995; Luterbacher et Sprinz 2001; Pillet 2006; Schellnhuber et Wenzel, 1998; Sen 2001; Stavins 2000; Van den Berg 1996, voir liste de références citées; Victor, Kay, Ruitenbeek 1991). La confédération suisse (Office fédéral de la statistique:OFS; l'Office fédéral du développement territorial: ARE) et l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage: OFEFP) a mis en place le *Monitoring du développement durable* (MONET), comprenant quelques 120 indicateurs à base statistique. Un écueil que l'on peut rencontrer et qui est connu dans le cas de l'estimation du panier de la ménagère et surtout, comme il n'y a pas un seul type de développement durable possible (fait culturel), est le poids que l'on attribue à

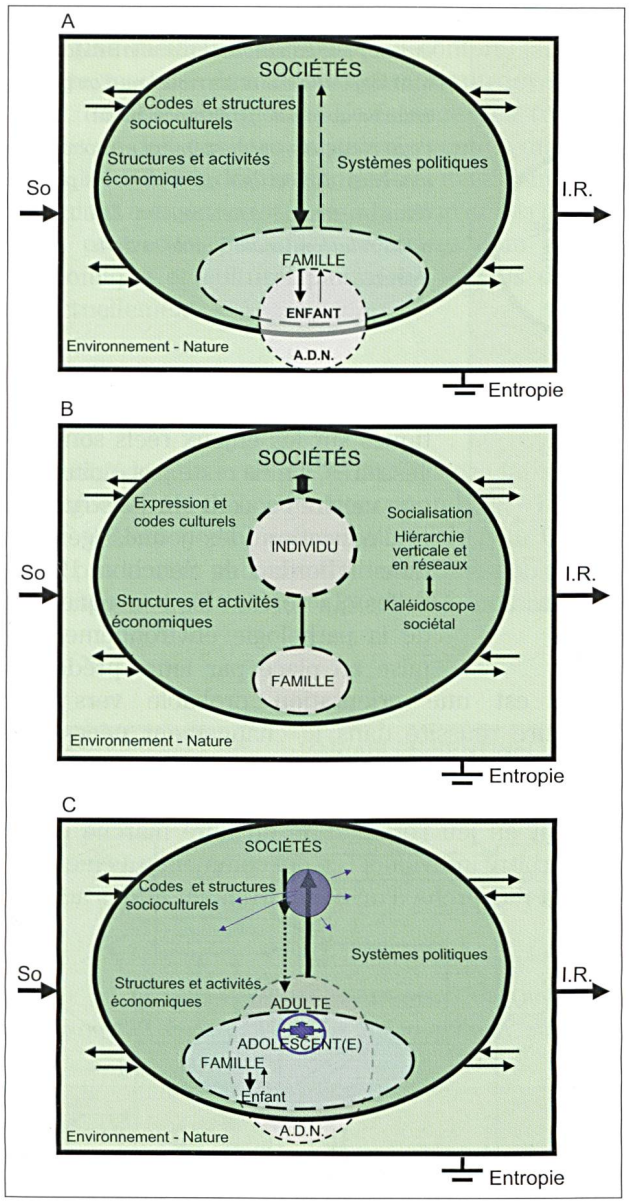


Fig. 3: Interaction Individu – Société. A: Conditionnement et contrôle: enfant, adolescent, pré-adulte (action-réaction). Déconstruction - reconstruction existentielle de la personnalité par la famille et la société (éducation-instruction). B: Formatage et intégration: culturels, juridico-administratifs, intellectuels et professionnels, politiques et idéologique, etc. (action-réaction), acceptés par l'individu qui en fait sa personnalité pour «réussir sa vie». Le modèle est dehors. C: Construction semi-autonome et interactive d'une personnalité spécifique ayant une source endogène (assimilation, transformation, création endogène dans l'interface Société-Environnement qui sera renaturé selon la nature de la personne). Le modèle est dedans. So: Soleil.

chaque paramètre du développement durable dans le concert des autres et la hiérarchie des pouvoirs limitant de chacun, selon leur combinatoire. Selon les choix faits (critères scientifiques, politiques, etc.), une situation peut sembler momentanément durable et ne pas l'être en fait, parce que des facteurs ont été occultés ou sous-estimés. L'approche par analyse de l'évolution des espaces de phases des variables sentinelles peut signaler vers quelle tendance se dirige l'-homéostasie du système considéré et aider à la décision socioéconomique (Greppin, Degli Agosti, Priceputu 2002, 2003; Priceputu, Greppin, Degli Agosti 2005a).

Culture et éthique

Au-delà de la question scientifique et technique, le plus important est l'émergence d'une notion éthique de la durabilité, que celle-ci soit d'origine profane ou non, mettant en évidence le caractère construit et culturel de la relation des humains et des nations avec l'écoespace et le bioespace naturel et social (Jonas 1990; Rens et Jakubec 1996; Rich 1994). Or ce champs culturel existentiel mondial et individuel est parcouru par des courants de finalités diverses, voir contradictoires et demandant donc un minimum de concordance idéologique pour mettre en place progressivement un réel développement durable, local, global et généralisé. On est loin du compte dans l'immédiat et la pression associée à l'inertie inhérente à la machinerie structuro-fonctionnelle mondiale font que les nécessités de l'immédiateté et des rapports de force d'intérêts font la loi... Il est vrai aussi que la complexité structurelle des sociétés modernes met en jeu une quantité d'information spécifique énorme (sciences exactes et naturelles, sciences de l'ingénieur, sciences humaines et politiques, évolution culturelle, etc.) et sans cesse en augmentation et remaniement, laquelle est parcellisée à travers diverses catégories socioprofessionnelles et individuelles et rend donc très difficile une vision globale. Il est toutefois possible d'avoir une maîtrise suffisante de la complexité fonctionnelle qui anime la précédente, c'est d'ailleurs par ce type d'information que nous sommes capables de conduire correctement une voiture dans l'ignorance totale de la thermodynamique, de la chimie du pétrole ou de la composition de l'acier de la carrosserie. L'inconvénient est que l'on ne réagira que lorsque des ennuis apparaîtront, l'anticipation, du fait de cette ignorance, étant difficile et la manipulation idéologique facilitée.

L'opinion étant, dans les démocraties, la source du pouvoir, elle sera donc fortement tributaire des crédos culturels, économiques et politiques qui ont cours dans la société (et aussi une chance pour le futur et le changement de comportement nécessaire, venant tant du secteur privé que public, selon les libertés et responsabilités réciproques), lesquels, de la naissance à l'âge adulte vont conditionner la sensibilité et la réponse de tout un chacun à une po-

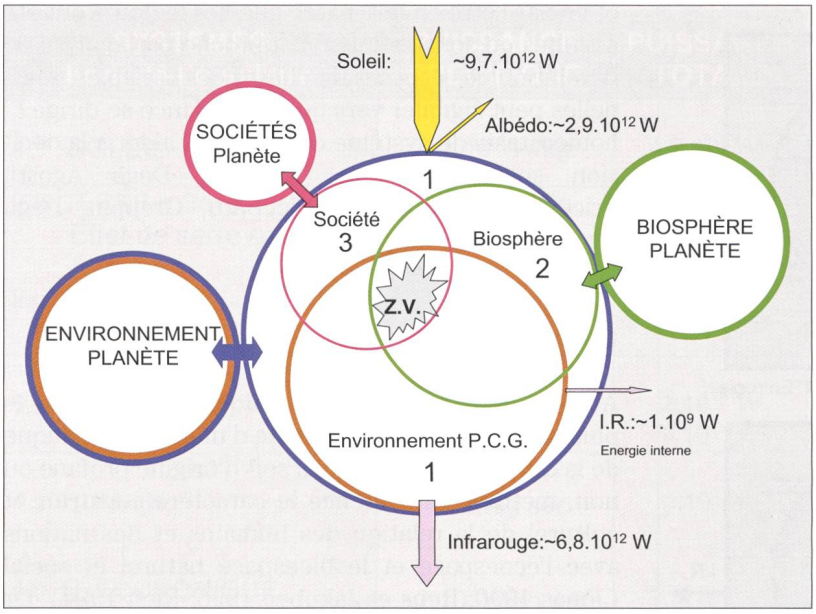
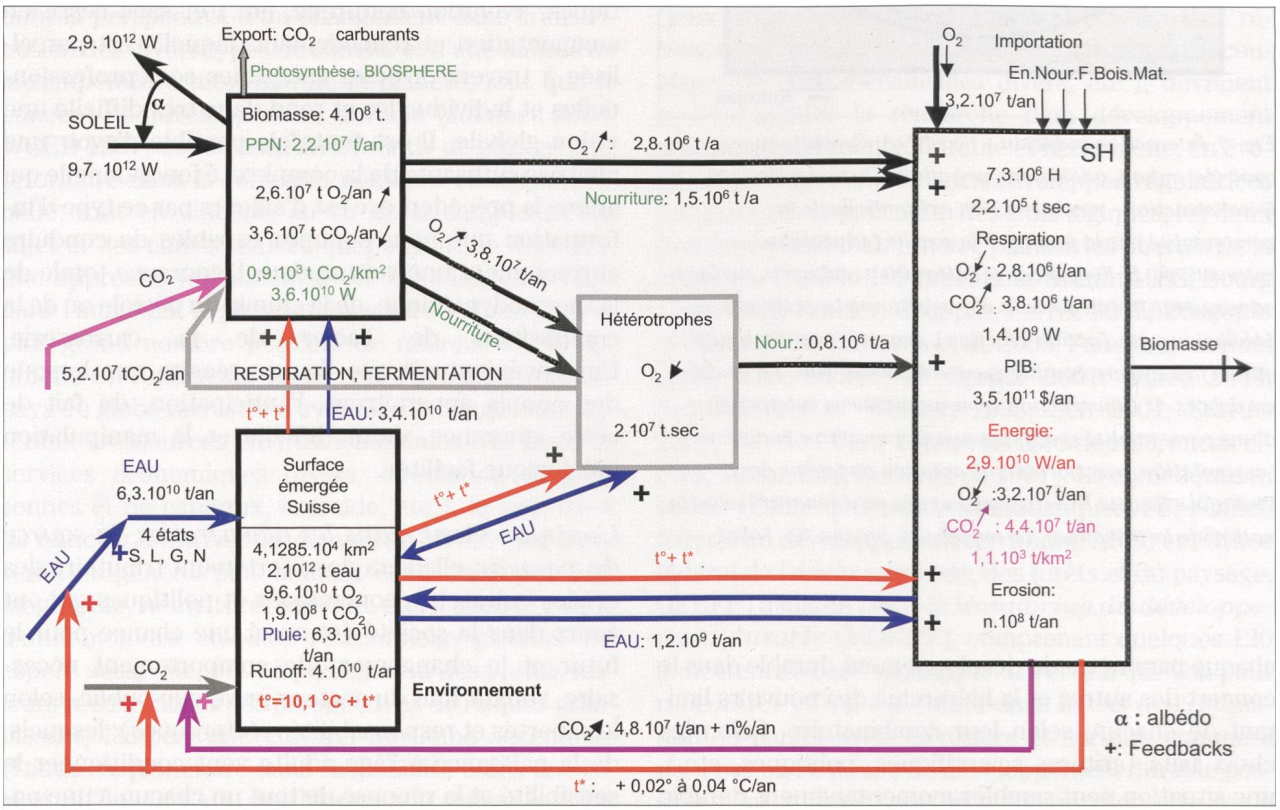


Fig. 4: Structure suisse des trois enveloppes de viabilité planétaire dans leur dépendance et intrication d'origine interne avec une participation de l'extérieur, et simultanément en coactions externes: dialectique du tout et des parties dans un ensemble hétérogène. Z.V.: Zone de la relation locale Viable et donc durable.

litique environnementale et économique privée et publique, en vue d'une certaine durabilité responsable (cf Fig. 3. A,B,C).

Si une information la plus objective possible, dans les limites des incertitudes scientifiques et de l'estimation probabiliste des risques encourus, de même que des débats contradictoires démocratiques sur les enjeux réels sont nécessaires, il n'en reste pas moins vrai que mettre l'accent sur l'instruction et l'éducation des jeunes générations (Giordan et Souchon 1992), celles qui verront les conséquences de la pathologie environnementale mise en place par leurs prédécesseurs, est une orientation probable vers une meilleure réussite dans le changement nécessaire des mentalités culturelles. L'adaptation doit être à la fois institutionnelle (lois, règlements, etc.) et libre, mettant en jeu l'orientation du libre marché et du libre arbitre individuel (ce qui commence à émerger) dans la recherche d'un comportement et des actions

Fig. 5: Articulation en Suisse des trois logiques de viabilité (approximation). SO: énergie solaire. PPN: production photosynthétique nette. Eau S.L.G.N.: solide, liquide, gazeux, nuages. Nour.: Nourriture. SH: sociétés humaines. PIB: produit intérieur brut.



innovantes, sources de richesses nouvelles, adaptées pour une meilleure durabilité de confort, face à la Nature, modulée de manière à garantir un développement durable acceptable. L'existence des trois logiques ne doit pas être considérée comme une fatalité à laquelle on doit se soumettre, mais comme un stimulant menant vers une modulation et des innovations privées et publiques créatrices d'un chemin économique et culturel plus riche et plus durable qu'actuellement.

Le système helvétique

La confédération suisse (0,027% de la surface émergée; 0,11% de la population mondiale; ~1,3% du PIB; ~0,018% de la biomasse mondiale pour 0,027% de la production photosynthétique. Emission de ~6 t CO_2/H/an: $4{,}4.10^7$ t CO_2, ~0,2% du CO_2 mondial d'origine fossile. Cinq nations: ~1/3 de la population de la planète, sont à l'origine des 2/3 des émissions mondiales pour ~80% du PIB et des variations annuelles moyennes allant de 20 t/H pour les USA à 2,6 t/H pour la Chine (Quatar, 60 t/H). La Suisse est un élément du vaste multistat multi-compartimenté mondial (~200 Etats), apportant sa contribution au changement climatique local et mondial (même modeste et déjà trop élevée: ~40% de réduction), et subissant aussi les effets induits ailleurs, à travers les échanges économiques et environnementaux de toutes sortes (cf Fig. 4). Cet ensemble, lui-même sous-compartimenté (cantons, régions, zones métropolitaines, villes), déterminant l'espace réel de la durabilité suisse (cf Fig. 5), laquelle n'est pas assurée à long terme actuellement (Beniston 2004; Priceputu 2006; Priceputu et Greppin, 2005; Priceputu, Greppin, Degli Agosti 2005a, b, 2006; Von Stokar et al. 2006; Wackernagel, Monfreda, Deumling 2002).

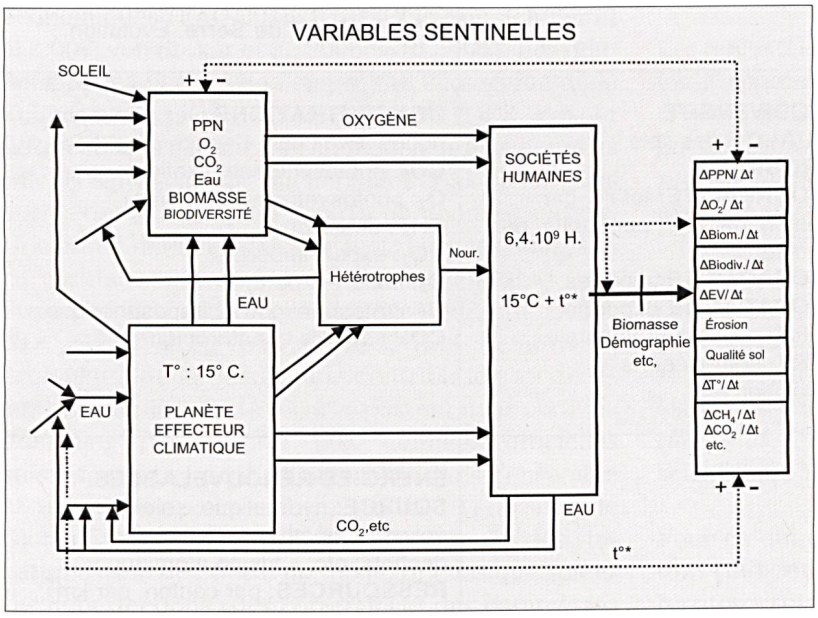


Fig. 6: Guidage de la durabilité par le biais de variables sentinelles élémentaires cernant l'enveloppe de viabilité. Variation de la production photosynthétique nette (PPN), de l'oxygène, etc. Variation des biomasses (biom.) et de la biodiversité (biodiv). Variation de l'espérance de vie (EV) des populations humaines, etc.

Le suivi de variables sentinelles (cf Table 2 et Figs. 6 et 7) selon une procédure déjà définie (Greppin 1978; Greppin, Degli Agosti, Hussy 2000; Greppin, Degli Agosti, Priceputu 2002, 2003; Priceputu, Greppin, Degli Agosti 2005a,b) permet de se situer quant à l'évolution permise, positive ou négative, de l'activité humaine vers un développement durable local et vers une interaction du même type avec l'étranger.

Nous présentons ici une suite du travail précédent (Priceputu, Greppin, Degli Agosti 2006) concernant l'ap-

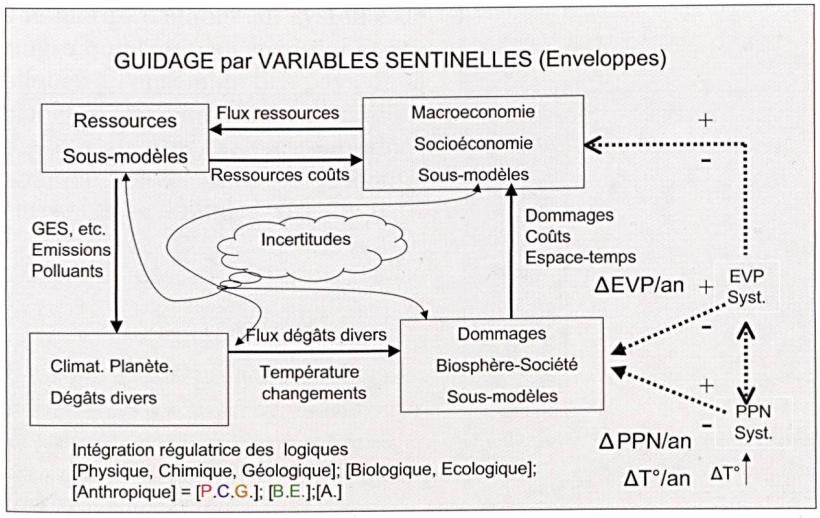


Fig. 7: Intégration des données issues de l'évolution des variables sentinelles dans la recherche des conditions économiques et sociales aptes à réaliser une durabilité acceptable par le système politique démocratique et culturel. Selon PSI, NCCR WP4, modifié.

Table 2. Quelques paramètres élémentaires pour évaluer l'état et le sens de l'évolution de l'enveloppe de viabilité. Produit intérieur brut (PIB). Parité du pouvoir d'achat (PPA). Produit national brut (PNB). Indice de pauvreté humaine (IPH). Indice de développement humain (IDH). Production photosynthétique nette (PPN). Composés organiques volatils (COV). Indicateurs émergétiques, Brown et Ugliati (1998). Empreinte écologique, Wackernagel et Rees (1996). PNUD (1999).

SYSTÈME HUMAIN	BIOSPHÈRE	ENVIRONNEMENT
PIB, PPA: total, par canton, par km^2, per capita, par secteur économique. Proportion import/export. PNB, IPH, IDH, etc. Poids économique & structure. Ratio PIB-énergie. Indice de Gini.	**Structure écologique. BIOMASSE:** totale, par canton, par ecosystème, par km^2, per capita (poids frais, sec, énergie). **Albédo. PPN:** totale, par canton, par ecosystème, par km^2, per capita.	**PRÉCIPITATIONS**: totales, par canton, par km^2, per capita. **RUNOFF**: import-export ; stock existant. **EAU:** domestique, agricole, emploi industriel , par canton, par km^2, per capita. **Diagrammes ombrothermiques.**
EPV: espérance moyenne de vie de la population: à la naissance, à 5 ans, à 60 ans ; selon sexe, catégorie sociale. **Kcal/H/jour**; **g. prot./H/jour**, etc. Indices démographiques.	**RUNOFF. Evapotranspiration.** Qualité des systèmes aquatiques et terrestres. **Glaciers, lacs, rivières, aquifères souterrains. Cycle et qualité de l'eau.**	**TEMPERATURE** (jours, nuits, etc.) Espace de phase thermique pluriannuel. Chaleur latente et sensible dans les différents compartiments et phases de l'eau . Thermodynamique environnementale. **Diagrammes climatiques. GAZ à EFFET de Serre**. Evolution.
BIOMASSE & PRODUCTION: agricoles, locales et importées, **BIOMASSE & PRODUCTION:** forêt, locale and importée, tot., par canton, par km^2, per capita. **AIRES:** surface agricole et forêt, totales., par canton, par km^2, per capita. Evolution. **AIRE:** habitat humain (ville, villa-ge, industrie, etc).	**BIODIVERSITÉ QUALITÉ** des sols **EROSION**. **BIOCAPACITE:** totale, par canton, par km^2, per capita, par secteur. **BIOCAPACITE** importée. **BIOCAPACITE** exportée. **AIRE:** couverture végétale . **AIRE:** semi-déserts. Evolution.	**CONCENTRATIONS**.Gaz atmosphériques. Evolution. Espace de phase. **CO_2:** photosynthèse (fixation). **O_2:** photosynthèse (émission). **CH_4 :** émission. **CO_2:** export-import. **O_2:** import-export. **O_3** stratosphérique et troposphérique. **COV** naturels et anthropiques.
CO_2: emission anthropique . Ratio au PIB : tot., par canton, par km^2, per capita, par secteur économique. **O_2:** consommation anthropique. **CH_4:** emission anthropique . **O_3:** troposphérique (production). **Charge en polluants:**,atm., eau, sols: tot.,. Ratio au PIB.		**ENERGIES RENOUVELABLES. SOURCE:** hydraulique, solaire, éolienne, géothermique, biofuel, déchets, etc. « fusion atomique » **RESSOURCES:** par canton, par km^2, per capita. Import-Export.
ENERGIE anthropique: par canton, par km^2, per capita, par secteur économique et type d'énergie. **INDICATEUR émergétique. Surface virtuelle de compensation en gaz carbonique**. **EMPREINTE ÉCOLOGIQUE:** locale et totale (importation). **EMPREINTE** exportée. **INDICATEUR,** Vulnérabilité locale et totale. **INDICATEUR,** Soutenabilité locale et totale.		

plication à la Suisse, ses cantons et ses 5 zones métropolitaines, de l'analyse de la relation avec ses environnements respectifs, estimés selon la méthode de l'empreinte écologique (Wackernagel et al. 2005), illustrant la difficulté d'une recherche d'un développement durable, à la fois local, régional et global dans le contexte helvétique, les échanges internationaux et les effets indirects des autres nations sur la situation planétaire.

Matériel et méthodes

Comme déjà décrit et discuté en détail précédemment, y compris la méthode de calcul (Priceputu, Greppin, Degli Agosti 2006), nous avons utilisé la méthode de Wackernagel et Rees (1996) mise à jour par Wakkernagel et al. (2005) et les données issues de Chambers et al. (2000) et Wackernagel et al. (1999, 2002, 2005) pour les redistribuer entre les différents cantons et les 5 zones métropolitaines, selon leurs caractéristiques environnementales et économiques (FAO, http: faostat.fao.org; Schuler et al. 2007; von Stokar et al. 2006; WRI 2005). Les données pour le calcul de l'empreinte écologique de la Suisse et ses cantons sont issues de l'OFS, FAO et WRI, certains paramètres du modèle utilisé pour ces calculs sont issus de Wackernagel et al. (2005); les autres ont été compilés à partir de données suisses. Une étude détaillée de cette méthode, ses limites et correctifs nécessaires a été publiée en 2006 (von Stokar et al.), sous le couvert de 4 éditeurs (ARE, DDC, OFEV, OFS) sous le titre suivant: L'empreinte écologique de la Suisse: une contribution au débat sur la durabilité. Si des écarts existent dans certains domaines par rapport aux données officielles suisses, ceux-ci sont négligeables dans l'ensemble et un accord pour le futur est intervenu avec le Global Footprint Network, quant à l'emploi des statistiques suisses. Cette méthode, quelles que soient ses imperfections (des correctifs et des paramètres supplémentaires sont à introduire), a le mérite d'établir un système de jauges que l'on peut moduler et appliquer à l'ensemble des pays de la planète. Dans notre cas, la différence dans les valeurs absolues pour la Suisse, dans sa globalité, entre celles établies par le GFN (Wackernagel et al. 2005) que nous avons utilisées pour l'approche cantonale et celles déterminées par l'OFS, n'ont que peu de conséquences sur la répartition différentielle entre les cantons et les zones métropolitaines (%) selon notre évaluation, tout en ne recouvrant pas certes la totalité des facteurs de l'environnement helvétique. Nous avons aussi estimé l'équivalent de la biocapacité prise par la Suisse à l'étranger et issue des importations commerciales (fourrage, nourriture, bois, etc). Pour l'élaboration des anamorphoses cartographiques ou cartogrammes (Gastner et Newman 2004), nous avons utilisé le logiciel ArcInfo v9.2 d'ESRI qui a été complété par un script pour l'élaboration de ces cartes (CartogramCreator v1.6 voir http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=14090). Dans tous les cas le nombre d'itération était de 10.

Résultat

1. Confédération et cantons

Les tables 3 et 4 présentent, pour la Confédération et les 26 cantons et demi-cantons, l'estimation, selon les critères de la méthode de Wackernagel, de *la biocapacité locale* et *celle indirectement importée*, *l'empreinte écologique*, conséquences du fonctionnement de la société sur le territoire suisse, *l'indicateur de soutenabilité (vulnérabilité)* permettant de situer et suivre, annuellement, l'orientation du compartiment considéré vers un plus haut ou plus faible degré de durabilité socioéconomique et environnementale, ce qui peut guider avec plus de sûreté les choix dans les *inflexions économiques, politiques et sociales* à réaliser, ainsi que l'approche scientifique à mettre en œuvre.

Pour ce qui est de la *Confédération,* nous constatons (indice de soutenabilité) qu'il faudrait 2,7 fois le territoire suisse pour compenser de manière durable

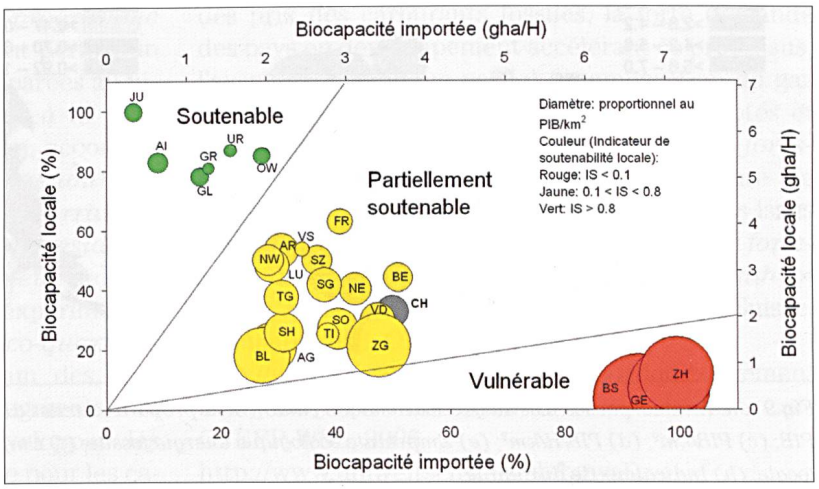


Fig. 8: Biocapacité locale et importée. Les diamètres des cercles sont proportionnels au PIB/km². Code de couleur: indicateur de soutenabilité locale, rouge < 0,1, vert >0,8, bleu, intermédiaire.

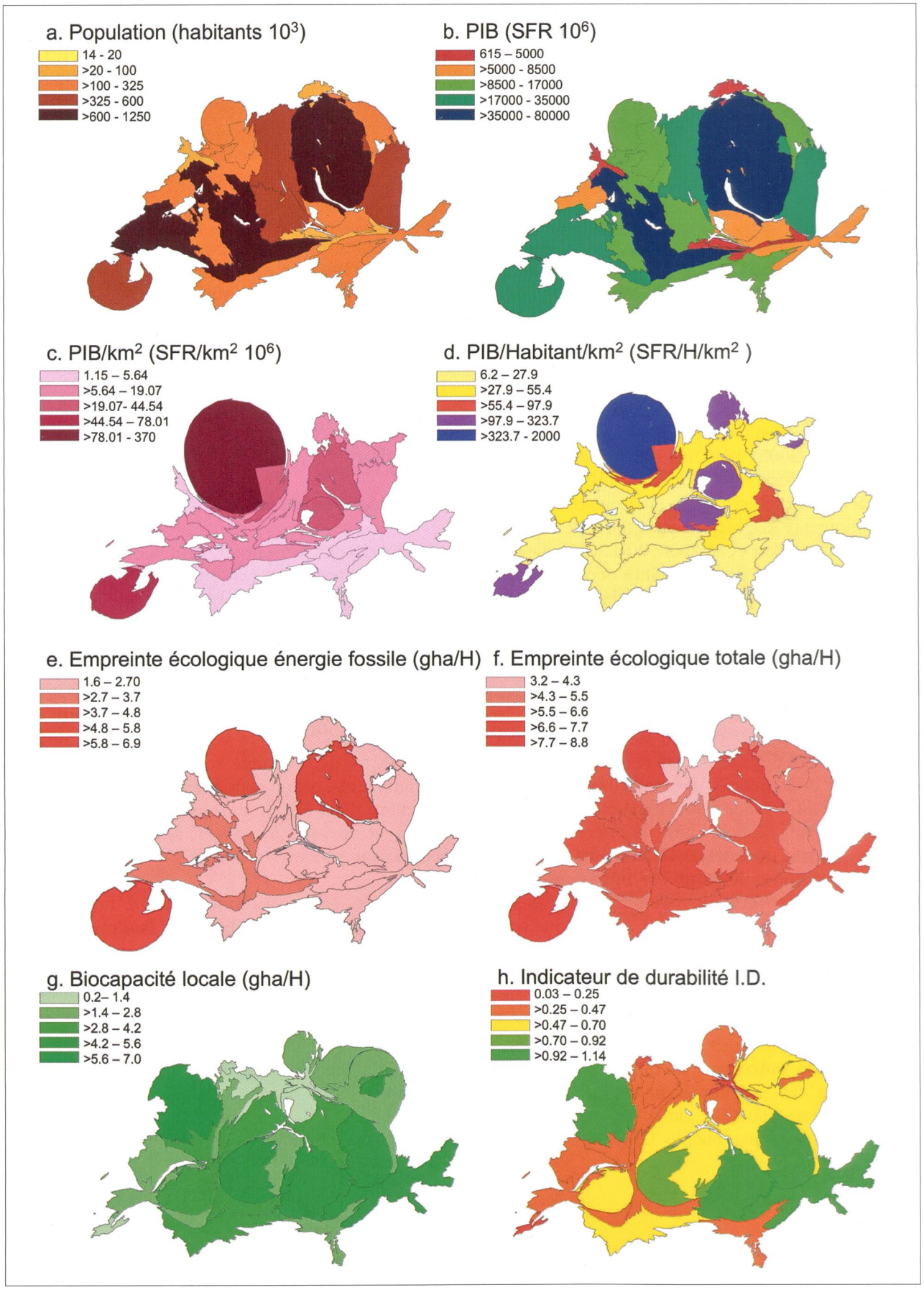


Fig 9 a-h: Anamorphoses. Les surfaces de chaque canton sont proportionnelles aux variables suivantes: (a) Population; (b) PIB; (c) PIB/km²; (d) PIB/H/km²; (e) Empreinte écologique énergie fossile; (f) Empreinte écologique totale; (g) Biocapacité locale; (h) Indicateur de durabilité.

la pression faite par les activités de la société helvétique (*empreinte écologique*) et que, pour près des *deux tiers* environ de cette empreinte la cause en est *l'emploi de l'énergie*, *l'élevage du bétail* venant au *second rang* (15%). *Si l'on intègre* les surfaces utilisées en fait à l'étranger pour les produits que nous importons, *la biocapacité totale* (cf Fig. 8) serait proche de ce qui est nécessaire pour avoir un indice de soutenabilité équilibrée, selon cette méthode (pour autant que la qualité de l'air et de l'eau, la pollution agricole soient bien maîtrisées, ce qui n'est pas tout à fait le cas actuellement).

Quant aux *cantons*, ce qui frappe est la *grande diversité des situations économiques et environnementales.* L'écart entre les valeurs minimales et maximales est élevé: Aire (1-191), Population (1-82), PIB (1-125), PIB/H (1-2,2), Empreinte écologique (1-2,7), Biocapacité locale (1-30,6), Indicateur de soutenabilité (1-38). *Le 73% du PIB est produit par 8 cantons sur 40% du territoire* (Zu, Be, Vd, Ag, Ge, Sg, Lu, Bs), *habité par le 66% de la population. Les 2/3 de l'empreinte écologique s'exercent sur 8 cantons représentant la moitié de la surface du territoire suisse* (Zu, Be, Ge, Vd, Sg, Ag, Lu, Vs). Cette variété de situations, qui a des conséquences quant à la nature et la capacité de réponse à la donne environnementale dans chaque canton, est illustrée par une série de *cartes anamorphiques* (cf Fig. 9a-h). L'anamorphose en déformant la surface des cantons en fonction d'une variable donnée, tout en conservant intactes les frontières de la Suisse, permet d'avoir une image cantonale proportionnelle à l'importance de cette variable dans le contexte suisse.

La soutenabilité écologique locale n'est pas assurée puisque, annuellement, nous exportons un surplus de gaz carbonique et importons de l'oxygène pour compenser le déficit local (cf Fig. 5). Le 83% des émissions de gaz à effet de serre (GES) proviennent du gaz carbonique (carburants) contre 60% pour le reste du monde. Les mesures prises concernant les bâtiments et la construction (*programme MINERGIE*, http://www.minergie.ch) ont permis un déclin des émissions de ce secteur comparées au niveau de 1990. La facilitation de *l'accès à la propriété* de l'habitation de tout un chacun, accompagnée de *l'emploi généralisé d'énergies renouvelables* et de mesures d'isolation efficaces, *pourraient*, ce qui est loin d'être une utopie, *réduire considérablement le poids de ce secteur producteur de GES* (plus du 50%), de même que celui de l'expérimentation sociale de la durabilité dans des *éco-quartiers* (SSES 2007). Celui des transports, un des plus avides d'énergie est toujours en augmentation, malgré la politique menée pour développer les transports publics, le couplage rail-route pour les camions, les mesures pour modérer la consommation et les exigences sur les rendements des moteurs, etc.; l'adaptation économique étant plus complexe et risquée dans ce domaine et la recherche d'un consensus difficile.

La forêt

La capacité photosynthétique du pays, au vu de sa surface, *est limitée* (cf Fig. 5); la forêt ou a lieu une part importante de la photosynthèse y joue un rôle primordial (12715,8 km^2~31% de la surface du pays, biomasse: 2,56.10^{8}t, 1,42.10^{8}t C; masse organique morte du sol: 1,71.10^{8}t C). Elle absorbe le gaz carbonique (atmosphère suisse: ~1,9.10^{8}t CO_2; ~9,6.10^{10} t O_2) durant sa phase active de croissance et accumule le carbone organique dans la masse de bois et dans le sol (matière morte transformée et minéralisée progressivement par les bactéries et les champignons du sol): puits de carbone. *Environ 80% du carbone organique est dans l'écosystème forestier* et pour ~40% du carbone édaphique total. Cette capacité est toutefois insuffisante pour compenser le surplus de GES d'origine anthropique dont une partie provient de la production planétaire. Durant l'an 2002, la forêt suisse a produit ~31694 m^3 de bois par jour (1.16.10^7 m^3/an: 912 m^3/km^2/an; 6,4.10^6 t/an: 503 t/km^2/an. *Environ 1 - 1.12 tonne de CO_2 est capté dans 1 m^3 de bois produit. La forêt suisse peut ainsi capter ~1,3.10^{7}t de CO_2 / an* (1022 t CO_2/km^2 de forêt/an, soit l'équivalent de ~30% des émissions GES du pays), et rejette 9,53.10^6 t O_2/an: 749,5 t O_2/km^2/an. *Avec le réchauffement climatique*, étant donné la masse énorme du carbone organique à digérer dans le sol, *la forêt va progressivement devenir une source de gaz carbonique* jusqu'à un équilibre nouveau dans l'épuisement du sol par les bactéries et champignons. Actuellement *la forêt est nettement sous-exploitée*: 43% utilisés (en 2002: 1,9.10^6 t de conifères et 7,3.10^5 t de feuillus) et il y a une importation nette d'essences de 5.10^5 t/an (7.10^8 Fr). L'augmentation significative des prix des carburants fossiles, la forte demande des pays en développement accélérant ce processus, l'avantage écologique partiel (compensation du gaz carbonique, mais émissions de composés azotés et de fines particules) font que *la production forestière*, y compris les buissons, la sylviculture de plantes à croissance très rapide et les déchets issus du bois et de la cellulose peuvent *contribuer fortement à la diminution des GES d'origine anthropique helvétique* (La forêt et le bois en Suisse. Annuaire 2003. OFS.
http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/land_und_forstwirtschaft.html
OFEFP-WSL, 2006.
http://www.umweltschweiz.ch/buwal).

L'agriculture

La surface agricole s.l. et son sol sont un réservoir à carbone important (16708 km^2: ~40% de la surface du pays; cultures, prairies, alpages, mayens, pâturages) dont l'extension en altitude, *suite au changement climatique, sera favorable à l'élevage du bétail*. Environ 1,2. 10^7 t de CO_2/an (718,2 t CO_2/km^2/an) est fixé et rejeté, en majorité par la respiration humaine et animale (nourriture, fourrage, etc.), la respiration et la fermentation des microorganismes bactériens et mycéliens. Un supplément à l'équilibre local est apporté par la consommation des importations végétales et carnées. L'agriculture suisse *ne peut assurer que le ~60% des besoins alimentaires du pays*, le solde étant importé (6,9.10^9 SFR/an; importation: 1,5.10^9 SFR/an); ainsi elle n'est pas un concurrent ou un perturbateur important du marché mondial. En raison de cette situation et du besoin de maintenir une agriculture efficace (activité économique et écologique) et respectueuse de l'environnement (lutte intégrée, production bio, etc), le support financier des autorités fédérales est important (3,5.10^9 SFR/an); Ce qui crée des difficultés dans les négociations internationales concernant les échanges commerciaux pour un pays dont *le ~70% du PIB* est en rapport avec *les exportations et les services suisses* de toutes sortes et dont les ressources primaires ont été importées au préalable. Un potentiel nouveau, au vu du développement de la connaissance en génétique et biotechnologie actuelle, des précautions étant prises (*nec temere, nec timide*), est *la production agricole non-alimentaire* (biofuels issus de plantes spécifiques non-vivrières, de déchets organiques divers susceptibles, après transformation, de diminuer les GES locaux par substitution aux carburants fossiles et aussi de diminuer la dépendance et le flux financier externes, tout en apportant un revenu local significatif; matériaux recomposés divers, médicaments, etc.).

La production agricole est essentiellement dévolue à *l'élevage du bétail* (prairies et pâturages: 83% de la surface agricole): en conséquence du nombre élevé d'animaux l'importation de fourrage et de nourriture est forte; une surface (>10% de la Suisse) est donc utilisée à l'étranger à cette fin (cf Fig.8). On peut mesurer le potentiel de nuisance de l'élevage (urines, matières fécales, méthane, etc.), si des mesures adaptées ne sont pas prises, par l'estimation suivante: dans une prairie permanente pour du bétail pouvant y vivre à l'année, 200 m^2 de surface/ kg de bétail sont suffisants pour croître et se développer de manière libre et écologiquement intégrée; pour l'élevage suisse actuel, cela correspondrait théoriquement à une surface de 1,2.10^5 km^2, soit environ trois fois celle du pays.

Le changement climatique demandera de nombreuses adaptations de ce secteur: nouvelles espèces vivrières et cultivars susceptibles d'un bon rendement dans les conditions climatiques à venir et adaptation aux parasites nouveaux.

2. L'espace métropolitain

Selon Bassand (2004), le premier réseau de la métropolisation implique 50 agglomérations urbaines reconnues par l'OFS en 2000. Celui-là a une épine dorsale constituée d'aires métropolitaines ou *pôles de métropolisation* (Racine et Raffestin 1990; Schuler et al. 2007). Ceux-ci *débordent les frontières cantonales et helvétiques (France, Allemagne, Italie)* et sont caractérisés par une intense activité économique spécialisée et globalisée, créatrice de la majorité de la richesse de la Suisse par voie privée. On peut distinguer 5 métropoles en constitution: 1. *Zurich* (le canton plus un étalement vers Aarau, Schaffhouse, Rorschach, St Gall, Schwyz, Lucerne), 2. *Le Mittelland* (Berne, Fribourg, Soleure), 3. *La métropole lémanique* (zone frontalière française, canton de Genève, Nyon, Lausanne, Vevey-Montreux), 4. *La métropole bâloise* (zone frontalière allemande et française, cantons de Bâle- ville, étalement vers Bâle-campagne, Soleure et Argovie), 5. *La métropole tessinoise* (zone frontalière italienne, Sotto Ceneri, Lugano, Mendrisio). (Association métropole suisse 2002).

Les tables 5,6 et 7 résument la situation, renforçant l'image d'une Suisse à plusieurs vitesses, *les métropoles évoluant selon leur logique intrinsèque*, créant de la richesse et aussi de grandes dissymétries territoriales face à la structure institutionnelle et environnementale. D'une part, on trouve sur ~22% de la surface de la Suisse (métropoles), ~63% de la population produisant le ~72 % du PIB. Par rapport au PIB/H moyen (48 495 SFR), celui des zones métropolitaines est en moyenne 11% au-dessus (14% en dessous pour les cantons sans métropoles et -25% dans les parties reliques des cantons à métropole). L'impact métropolitain sur l'environnement est important (l'indice de l'empreinte écologique énergétique est élevé et celui de la soutenabilité locale est faible). Il faudrait, selon les métropoles, plus de 10 fois l'équivalent de leur surface pour assurer l'équilibre naturel. D'autre part, 5,2% de la population habitant 25% de la surface helvétique (cantons) et produisant le 4,5% du PIB a un indice de soutenabilité locale élevé: >0,8 (Appenzell, Obwald, Grisons, Glaris, Uri, Jura) très proche de la durabilité, selon le critère utilisé. La comparaison avec les données fédérales, cantonales et métropolitaines (cf Figs. 5, 8 à 10, Tables 3,4,5,6 et 7) mettent bien en évidence cette disparité du système suisse

Table 3. Empreinte écologique (EE) et biocapacité (BC) de la Suisse (2003). Déficit écologique (EE-BC): les valeurs positives indiquent l'insuffisance en biocapacité par rapport à la demande, les valeurs négatives correspondent à un surplus de capacité de production. I.S.: indice de soutenabilité/vulnérabilité (BC/EE).

	Pop. (2003)	AIRE (km^2)	PIB 2003 (10^6 fr)	EMPREINTE ÉCOLOGIQUE (E.E.) [gha/H]						E.E. TOTALE [gha/H]		BIOCAPACITÉ (BC) [gha/H]						INDICATEUR (I.S.) SOUTENABILITÉ	
				Forêt	Culture	Elevage	Etabliss. humain	Energie	Bio-diversité	Sans biodiv.	avec biodiv.	Biocap. locale a	Biocap. importée b	a + b	% import	Déficit écologique a	Déficit écologique a + b	a	a + b
CH	**7364100**	**41285**	**357128**	**0.25**	**0.56**	**0.86**	**0.33**	**3.10**	**0.70**	**5.16**	**5.86**	**2.11**	**3.58**	**5.69**	**62.9**	**3.76**	**0.18**	**0.36**	**0.97**
AG	556229	1403.7	26761	0.07	0.36	0.53	0.32	1.74	0.42	3.08	3.50	1.35	2.08	3.43	60.7	2.15	0.06	0.39	0.98
AR	53189	243	2319	0.17	0.35	1.86	0.32	1.74	0.62	4.51	5.13	3.43	2.19	5.62	38.9	1.69	-0.50	0.67	1.10
AI	**14995***	172.5	**615***	0.55	0.55	2.27*	0.37	1.64*	0.74	5.45	6.19	5.34	0.65	6.00	10.8	0.84	0.19	0.86	0.97
BL	263194	517.5	13338	0.03	0.32	0.52	0.29	1.64*	0.39*	**2.85***	**3.24***	1.16	1.95	**3.11***	62.6	2.07	0.13	0.36	0.96
BS	186871	**37.1***	13781	0.76	0.28	0.07*	0.19*	5.50	0.94	6.86	7.80	**0.21***	6.66	6.87	96.9	7.59	**0.93***	**0.03***	**0.88***
BE	950209	5958.9	40524	0.29	0.48	1.21	0.33	3.29	0.77	5.67	6.44	2.85	3.66	6.51	56.2	3.59	-0.07	0.44	1.01
FR	242679	1670.8	9429	0.27	0.55	1.73	0.38	2.57	0.76	5.56	6.32	4.05	2.93	6.99	41.9	2.26	-0.67	0.64	1.11
GE	419254	282.2	22016	0.37	0.31	0.18	0.22	6.22	1.00	7.36	8.36	0.44	7.04	7.47	94.1	7.93	0.89	0.05	0.89
GL	38380	685.2	2019	0.16	0.73	1.55	0.36	1.78	0.63	4.65	5.28	5.03	1.17	6.20	18.8	0.25	-0.92	0.95	1.17
GR	186105	**7105.2***	8205	0.52	0.79	1.38	0.48*	1.64*	0.66	4.87	5.53	5.21	1.28	6.50	19.7	0.32	-0.97	0.94	1.17
JU	69196	838.6	2438	0.07	0.59	2.11	0.48*	1.64*	0.68	4.97	5.64	**6.43***	**0.34***	6.77	**4.9***	**-0.79***	**-1.12***	**1.14***	**1.20***
LU	352311	1493.5	14708	0.16	0.38	1.53	0.30	1.80	0.58	4.23	4.80	3.12	2.08	5.20	40.0	1.68	-0.40	0.65	1.08
NE	166949	803.1	7096	0.28	0.35	1.39	0.31	2.67	0.69	5.06	5.75	2.60	3.12	5.72	54.5	3.15	0.03	0.45	0.99
NW	38897	276.1	2187	0.37	0.44	1.30	0.30	1.78	0.58	4.25	4.83	3.23	2.03	5.27	38.6	1.60	-0.44	0.67	1.09
OW	32999	490.5	1198	1.09*	0.70	1.98	0.37	1.65	0.80	5.86	6.66	5.48	1.95	7.43	26.2	1.17	-0.77	0.82	1.12
SH	73916	298.5	3728	0.25	0.43	0.58	0.34	1.71	0.46	3.37	3.83	1.67	2.22	3.89	57.0	2.16	-0.06	0.44	1.02
SZ	133358	908.3	6720	0.37	0.44	1.44	0.31	2.38	0.68	4.99	5.67	3.22	2.64	5.86	45.0	2.45	-0.20	0.57	1.03
SO	246504	790.7	10802	0.18	0.36	0.74	0.33	2.56	0.58	4.23	4.81	1.74	2.90	4.63	62.5	3.07	0.17	0.36	0.96
SG	455193	2025.6	19815	0.18	0.40	1.23	0.32	2.46	0.63	4.64	5.27	2.69	2.73	5.42	50.3	2.58	-0.15	0.51	1.03
TI	314563	2812.5	11645	0.15	0.44	0.34	0.36	2.51	0.53	3.87	4.40	1.62	2.77	4.38	63.1	2.78	0.01	0.37	1.00
TG	229882	990.9	9915	0.08	0.35	1.16	0.37	1.88	0.53	3.90	4.44	2.42	2.19	4.61	47.5	2.02	-0.18	0.55	1.04
UR	35246	1076.6	1551	0.22	0.97*	1.60	0.39	1.65	0.67	4.89	5.56	5.59	1.55	7.13	21.6	-0.02	-1.57	1.00	1.28
VS	281020	5224.5	10254	0.31	0.63	0.89	0.42	2.54	0.66	4.84	5.50	3.47	2.45	5.91	41.3	2.04	-0.41	0.63	1.07
VD	631999	3212.1	31151	0.33	0.35	0.35	0.34	3.23	0.63	4.63	5.26	1.93	3.40	5.33	63.8	3.33	-0.07	0.37	1.01
ZG	102247	238.8	7905	0.03*	0.82	0.73	0.27	2.39	0.60	4.40	5.00	1.37	3.41	4.78	71.3	3.63	0.22	0.27	0.96
ZH	**1242488***	1728.8	**77009***	0.24	0.11*	0.19	0.26	6.87*	1.05*	**7.71***	**8.76***	0.75	**7.14***	**7.89***	**90.4***	**8.00***	0.87	0.09	0.90

Table 4. A: Biocapacité et empreinte écologique totale et sectorielle (%).

No	Canton	BIOCAPACITÉ (BC) [gha/H]				EMPREINTE ÉCOLOGIQUE (E..E.) [gha/H]												E. E. TOTALE. [gha/H]			
		locale		importée		Forêt		Culture		Elevage		Etabliss. Humain		Energie fossile		Biodiversité		Sans biodiv.		Avec biodiv.	
		% CH	Rang	% CH	Rang	% CH	Rang	% CH	Rang	% CH	Rang	% CH	Rang	% CH	Rank	% CH	Rang	% CH	Rang	% CH	Rang
1	Argovie	4.86	9	4.42	7	2.13	15	4.89	3	3.18	4	7.37	4	4.27	7	4.56	6	4.54	6	4.54	6
2	Appenzell Rh.-Ext.	1.18	19	0.44	20	0.49	19	0.45	23	0.30	23	0.70	20	0.41	21	0.64	21	0.64	21	0.64	21
3	Appenzell Rh.-Int.	0.52	24	0.04	26*	0.45	20	0.20	25*	0.13	25*	0.23	24*	0.11	26*	0.22	26*	0.22	25*	0.22*	25
4	Bâle-Campagne	1.98	15	1.96	14	0.43	21	2.06	13	1.34	13	3.16	13	1.90	15	2.00	16	1.99	16	1.99	16
5	Bâle-Ville	0.25	25*	4.75	5	7.76	5	1.28	17	0.83	17	1.47	16	4.53	6	3.43	10	3.39	10	3.40	10
6	Berne	17.54	1*	13.27	2	15.06	2	11.13	1*	7.25	1*	12.98	2	13.78	2	14.28	2	14.27	2	14.27	2
7	Fribourg	6.37	5	2.71	11	3.58	9	3.26	10	2.12	10	3.82	9	2.75	12	3.60	9	3.57	9	3.58	9
8	Genève	1.19	18	11.27	3	8.48	4	3.17	11	2.07	11	3.82	9	11.50	3	8.18	3	8.17	3	8.17	3
9	Glaris	1.25	17	0.17	24	0.34	23	0.68	21	0.45	21	0.57	21	0.30	23	0.47	23	0.47	22	0.47	22
10	Grisons	6.28	7	0.91	18	5.29	6	3.59	6	2.34	6	3.70	10	1.35	17	2.40	13	2.40	13	2.40	13
11	Jura	2.88	12	0.09	25	0.26	24	1.00	18	0.65	18	1.38	17	0.50	20	0.92	19	0.91	19	0.91	19
12	Lucerne	7.12	4	2.80	9	3.08	10	3.27	9	2.13	9	4.38	8	2.80	10	3.99	7	3.95	7	3.94	7
13	Neuchâtel	2.81	13	1.99	13	2.56	13	1.43	16	0.93	16	2.14	14	1.96	13	2.25	15	2.24	15	2.24	15
14	Nidwald	0.81	22	0.30	21	0.79	18	0.42	24	0.27	24	0.48	23	0.31	22	0.44	25	0.44	24	0.44	24
15	Obwald	1.17	20	0.25	22	1.97	16	0.56	22	0.37	22	0.51	22	0.24	25	0.52	22	0.51	21	0.51	21
16	Schaffhouse	0.80	23	0.63	19	1.01	17	0.78	20	0.51	20	1.04	19	0.56	19	0.66	20	0.66	20	0.66	20
17	Schwyz	2.78	14	1.34	16	2.70	11	1.43	16	0.93	16	1.71	15	1.40	16	1.77	17	1.76	17	1.76	17
18	Soleure	2.78	14	2.73	10	2.43	14	2.17	12	1.41	12	3.37	12	2.78	11	2.79	12	2.76	12	2.76	12
19	Saint-Gall	7.93	2	4.74	6	4.48	8	4.44	4	2.89	3	6.03	5	4.94	5	5.60	5	5.59	5	5.59	5
20	Tessin	3.30	11	3.33	8	2.58	12	3.38	7	2.20	7	4.69	7	3.48	8	3.25	11	3.22	11	3.23	11
21	Thurgovie	3.60	10	1.92	15	1.01	17	1.96	15	1.28	15	3.52	11	1.91	14	2.38	14	2.37	14	2.38	14
22	Uri	1.28	16	0.21	23	0.42	22	0.83	19	0.54	19	0.57	21	0.26	24	0.46	24	0.46	23	0.46	23
23	Valais	6.32	6	2.63	12	4.76	7	4.32	5	2.81	5	4.89	6	3.15	9	3.62	8	3.60	8	3.60	8
24	Vaud	7.90	3	8.20	4	11.40	3	5.40	2	3.51	2	8.90	3	9.00	4	7.77	4	7.7	4	7.75	4
25	Zoug	0.91	21	1.33	17	0.17	25*	2.05	14	1.33	14	1.14	18	1.08	18	1.20	18	1.19	18	1.19	18
26	Zürich	6.04	8	33.86	1*	16.30	1*	3.34	8	2.17	8	13.38	1*	37.63	1*	25.47	1*	25.37	1*	25.38*	1

Table 4. B: Classement des cantons selon le degré de vulnérabilité/soutenabilité. Priorité d'actions sur la consommation d'énergies fossiles (réduction, substitution, rendement, innovation). Estimation de la variation de la température moyenne.

No.	Canton	Vulnérabilité locale		Indice de soutenabilité		Population		EE totale		dont part énergétique		Priorité action énergie	Estim. ΔT_{ann} (%°C/décennie)
		% CH	Rang	locale	locale + importée	% CH	Rang	% CH	Rang	% CH	Rang		
1	Argovie	4.32*	6	0.39	0.98	7.60*	4	4.54	6	2.56*	7	++++	+ 4.52
2	Appenzell Rh.-Ext.	0.32	19	0.67	1.10	0.73	21	0.64	21	0.25	20	+	+ 3.72
3	Appenzell Rh.-Int.	0.05	23	0.86	0.97	0.20	26	0.22	25	0.07	24	+	+ 3.64
4	Bâle-Campagne	1.97	13	0.36	0.96	3.60	10	1.99	16	1.14	14	+++	+ 3.73
5	Bâle-Ville	5.13*	5	0.03	0.88	2.55	14	3.39	10	2.72*	6	++++	+ 2.95
6	Berne	12.33*	2	0.44	1.01	12.98*	2	14.27	2	8.28*	2	++++	+ 3.72
7	Fribourg	1.98	12	0.64	1.11	3.32	12	3.57	9	1.65	12	+++	+ 5.22
8	Genève	12.02*	3	0.05	0.89	5.73*	6	8.17	3	6.91*	3	++++	+ 3.05
9	Glaris	0.03	24	0.95	1.17	0.52	23	0.47	22	0.18	21	+	+ 6.22
10	Grisons	0.22	21	0.94	1.17	2.54	15	2.40	13	0.81	16	++	+ 13.30
11	Jura	-0.20	26	1.14	1.20	0.95	20	0.91	19	0.30	19	+	+ 3.45
12	Lucerne	2.14	10	0.65	1.08	4.81*	7	3.95	7	1.68	10	+++	+ 6.77
13	Neuchâtel	1.90	14	0.45	0.99	2.28	16	2.24	15	1.18	13	+++	+ 3.59
14	Nidwald	0.22	20	0.67	1.09	0.53	22	0.44	24	0.18	21	+	+ 5.21
15	Obwald	0.14	22	0.82	1.12	0.45	25	0.51	21	0.14	23	+	+ 4.96
16	Schaffhouse	0.58	18	0.44	1.02	1.01	19	0.66	20	0.33	18	+	+ 3.82
17	Schwyz	1.18	17	0.57	1.03	1.82	17	1.76	17	0.84	15	++	+ 5.26
18	Soleure	2.74	9	0.36	0.96	3.37	11	2.76	12	1.67	11	+++	+ 3.34
19	Saint-Gall	4.25*	7	0.51	1.03	6.22*	5	5.59	5	2.97*	5	++++	+ 4.26
20	Tessin	3.16	8	0.37	1.00	4.30	8	3.22	11	2.09	8	+++	+ 5.02
21	Thurgovie	1.68	15	0.55	1.04	3.14	13	2.37	14	1.14	14	+	+ 5.01
22	Uri	0.00	25	1.00	1.28	0.48	24	0.46	23	0.15	22	+	+ 7.32
23	Valais	2.07	11	0.63	1.07	3.84	9	3.60	8	1.89	9	+++	+ 10.12
24	Vaud	7.61*	4	0.37	1.01	8.64*	3	7.75	4	5.41*	4	++++	+ 3.43
25	Zoug	1.34	16	0.27	0.96	1.40	18	1.19	18	0.65	17	++	+ 4.21
26	Zürich	35.93*	1	0.09	0.90	16.98*	1	25.37	1	22.61*	1	++++	+ 4.02

*Classement des cantons selon leur degré de vulnérabilité/soutenabilité. Priorités d'action sur la consommation d'énergie fossile (réduction, substitution, rendement, innovation).

Table 5. Evaluation de quelques caractéristiques des 5 zones métropolitaines (à l'exclusion de la partie située à l'étranger). CH: ~3,6.10¹¹ SFR, ~7,3.10⁶ H, 41293 km²; empreinte énergétique: 3,10; indice de soutenabilité: 0,36. PIB, 48495 SFR/H.

MÉTROPOLES	%PIB CH	%POP CH	%SURF CH	Empreinte Energie Gha/H	Soutenabilité locale	PIB/H SFR
1. ZURICH	36,1	30,4	10,5	6,87	0,09	57 495
2. MITTELLAND	12,4	11,3	5,4	4,20	0,30	53 234
3. LÉMAN	12,7	11,3	2,8	6,20	0,05	54 350
4. BÂLE	8,6	7,8	1,9	5,50	0,03	53 543
5. LUGANO	2.7	2,5	1,3	2,51	0,34	51 000
TOTAL	72,5%	63,3%	21,9%	Moyenne: 5,05	0,16	53 924

Table 6. Evaluation dans les cantons sans métropoles.

Cantons sans métropoles	%PIB CH	%POP CH	%SURF CH	Empreinte Energie Gha/H	Soutenabilité locale	PIB/H SFR
1.Appenzell R.E.	0,64	0,72	0,58	1,74	0,67	43 599
2.Appenzell R.I.	0,17	0,20	0,41	1,64	0,86	41 023
3.Glaris	0,56	0,52	1,65	1,78	0,91	52 600
4.Grisons	2,29	2,52	17,21	1,64	0,94	44 085
5.Jura	0,68	0,93	2,03	1,64	1,14	35 230
6.Neuchâtel	1,98	2,26	1,94	2,67	0,45	42 605
7.Obwald	0,33	0,44	1,18	1,65	0,82	36 315
8.Uri	0,43	0,47	2,60	1,65	1,00	43 999
9.Valais	2,87	3,81	12,65	2,54	0,63	36 489
TOTAL	9,9%	11,9%	40,3%	Moyenne: 1,88	0,82	41 771

Table 7. Evaluation dans les reliquats des cantons métropolitains.

Reliquats cantons métropolitains	%PIB CH	%POP CH	%SURF CH	Empreinte Énergie	Soutenabilité locale	PIB/H SFR
1. Argovie	2,72	2,51	0,85	1,74	0,39	52 515
2. Bâle campagne	0,16	0,22	0,23	1,64	0,36	37 140
3. Berne	2,59	4,67	10,72	3,29	0,44	26 964
4. Fribourg	0,91	1,63	2,90	2,57	0,64	26 971
5. Lucerne	0,80	1,02	1,87	1,80	0,65	39 098
6. Nidwald	0,35	0,43	0,55	1,78	0,67	39 867
7. Schaffhouse	0,79	0,96	0,69	1,71	0,44	39 999
8. Schwyz	1,05	1,27	1,88	2,38	0,57	39 991
9. Soleure	1,06	1,90	1,31	2,56	0,36	39 836
10. St. Gall	2,36	2,91	3,69	2,46	0,51	39 338
11. Tessin	0,56	1,71	5,54	1,50	1,00	16 045
12. Thurgovie	1,89	2,41	1,72	1,88	0,55	38 110
13. Vaud	2,18	2,93	5,64	3,23	0,37	36 000
TOTAL	17,6%	24,8%	37,8%	Moyenne: 2,19	0,53	36 298

eu égard au degré de couplage et de déconnexion des territoires politiques et socio-économiques, face à la qualité de l'environnement et son évolution différenciée pluvio-thermique probable (Beniston et al.1994; Beniston 2004; Priceputu et al. 2005).

3. Le changement climatique

L'évolution climatique probable de la Suisse de même que les conséquences économiques possibles ont déjà fait l'objet de nombreuses publications (Beniston 1993, 1994, 2004; Rebetez 2002; Flückiger et Rieder 1997; Haurie et Viguier 2005). L'étude se poursuit sous le couvert du Pôle de Recherche National (PRN; NCCR: Berne, Fribourg, Genève, Villigen, Zurich) sur le climat (www.nccr-climate.unibe.ch; www.proclim.ch). La table 8 résume une situation possible pour les différents cantons et les priorités à considérer. *Les conséquences économiques* seront plus marquées pour *le tourisme* qui devra considérablement se modifier, de même que *l'agriculture* pour dégager de nouveaux revenus (cf table 8) (Priceputu 2006; Priceputu et Greppin 2005; Priceputu, Greppin, Degli Agosti 2005a). L'adaptation énergétique est fortement tributaire de l'ajustement des mesures publiques intégrant la donne nationale et internationale, tout en permettant aux entreprises et à l'économie privée de réaliser les transformations innovatrices susceptibles de maintenir un développement durable de valeur élevée dans l'optimum environnemental ad hoc.

Conclusion

La quadruple adaptation (Etat, cantons, métropoles, libre marché privé), en vue d'un développement durable, est une nécessité qui demande la mise en œuvre d'une approche scientifique à la fois systémique, cybernétique et analytique, couplée à des instruments politiques et institutionnels mieux adaptés aux circonstances actuelles, y compris le rôle primordial de l'instruction et de l'éducation, tout en stimulant la coopération du libre marché (culture d'entreprises) dans la découverte innovatrice et un mode de faire assurant une prospérité durable.

Remerciements

Nous remercions pour leur aide les professeurs Beat Bürgenmeier, directeur du Centre d'Ecologie humaine et des Sciences de l'Environnement et du Département d'Economie politique et les professeurs honoraires Alain Haurie (HEC, Logilab), ancien responsable du NCCR Climate, WP4, Charles Hussy (Dép.de Géographie) et Michel Bassand (sociologie urbaine, EPFL). Notre reconnaissance va aussi auprès des professeurs Jerzy Paskowski, directeur du Département de Botanique et biologie végétale et son collègue William Broughton.

Table 8. Risque climatique possible en Suisse (100 prochaines années. SRES A_2. IPCC. Réduction du CO_2 à 3 t/H/an) et priorités adaptatives (AGR: cultures et élevage du bétail. FORET: foresterie. TOUR: tourisme. EvEx: événements extrêmes). S: sécheresse, I: inondations, F: feux de forêts, T: glissement de terrains, P: parasites et ravageurs, G: fonte des glaciers.

No	Canton	RISQUES CLIMAT 2100 (10.3% PIB_{CH})					PRIORITÉS ADAPTATIVES
		Agriculture	Elevage	Foresterie	Tourisme	Biodiversité	
1	Argovie	S, P, I	S, I			S, I	AGR1 - diversification des cultures et de l'élevage; AGR2 - choix de nouvelles variétés végétales plus résistantes à la température et à l'humidité.
2	Appenzell Rh.-Ext.			S, P		S	
3	Appenzell Rh.-Int.			S, P		S	
4	Bâle-Campagne	S, P, I	S, I	S, P		S, I	AGR1, AGR2.
5	Bâle-Ville	S		S		S	SANTE1 - normes de construction, aménagement, urbanisme; SANTE2 - émission d'avertissements de chaleur intense; SANTE3 - avis de pollution.
6	Berne	S, P, I	S, I	S, I	T	S, I, T	AGR1, AGR2, AGR3 - systèmes d'alerte rapide; AGR4 - amélioration des systèmes d'irrigation et de gestion de l'eau; SANTE1, 2, 3.
7	Fribourg	S, P, I	S, I	S, P	T	S, I, T	AGR1, 2, 3, 4 ; SANTE1, 2, 3
8	Genève	S		S		S	AGR2, 3, 4 ; SANTE1, 2, 3
9	Glaris	I, T	I, T	I, T		I, T	INONDATIONS, GLISSEMENTS DE TERRAIN ; EVEX1 - aménagement du territoire; EVEX2 - construction dans des zones à faible risque; EVEX3 - ouvrages de protection;
10	Grisons	I	I	I, T	I, T, G	I, T	AGR1 ; AGR5 - diversification des revenus des ménages agricoles. TOUR1 - diversification des options touristiques. TOUR2 - neige de fabrication artificielle. EVEX1, 2, 3
11	Jura	S, P		S, P, F		S, F	AGR5, 3, 4 ,TOUR 1, FORET1 – introduction d'essences plus résistantes à la variabilité du climat; FORET2 - programmes de prévention des incendies; FORET3 – protection contre les parasites;
12	Lucerne	I		I		I	INONDATIONS - EVEX1, 2, 3
13	Neuchâtel	S, P	S	S		S	
14	Nidwald	I, T	I, T	I, T		I, T	INONDATIONS - EVEX1, 2, 3
15	Obwald	I, T	I, T	I, T		I, T	INONDATIONS - EVEX1, 2, 3
16	Schaffhouse						
17	Schwyz	I		I			
18	Soleure						
19	Saint-Gall	I, T		I, T		I, T	AGR1, 2, 3 ; FORET1 ; INONDATIONS - EVEX1, 2, 3
20	Tessin	S, I	S, I	S, F	I, T	S, I, F, T	AGR1, 2, 3, 4 ; FORET 2, 3 ; TOUR1 ; SANTE1, 2, 3 ; INONDATIONS - EVEX1, 2, 3
21	Thurgovie						
22	Uri	I	I	I	I, T	I, T	INONDATIONS, GLISSEMENTS - EVEX1, 2, 3
23	Valais	S, P, I	S, I	S, P, F	I, T, G	S, I, F, T	AGR1, 2, 3, 4, 5 ; FORET1, 2, 3 ; TOUR1, 2 ; EVEX1, 2, 3
24	Vaud	S, P, I	S, I	S	I	S, I, T	AGR1, 2, 3, 4, 5 ; FORET1, 2, 3 ; TOUR1, 2 ; EVEX1, 2, 3 ; SANTE1, 2, 3 ;
25	Zoug	P, I				I	
26	Zürich	S, P, I	S, I	S, I		S, I	AGR1, 2, 3, 4, 5 ; FORET1, 2, 3 ; SANTE1, 2, 3

*Table 9. PIB par canton et sa répartition sectorielle: agriculture, forêts et tourisme. * Degré de sensibilité au changement climatique.*

No.	Canton	Surface	Pop.	PIB / H. (Fr.)		PIB Total : 2003 *			PIB Agricole ***			PIB Forêt **			PIB Tourisme ****		
		%	%		Rang	$.10^6$ fr.	% PIB CH	Rang	$.10^6$ fr.	% PIB_{agr} CH	Rang	$.10^6$ fr.	% PIB_{for} CH	Rang	$.10^6$ fr.	% PIB_{tour} CH	Rang
1	Argovie	3.4	7.6	48 111	11	26760.75	7.49	4	387.18	4.17	9	349.04	4.07	8	509.39	2.69	13
2	Appenzell Rh.Ext.	0.58	0.73	43 599	16	2319.04	0.65	21	83.01	0.89	20	55.84	0.65	22	117.96	0.62	25
3	Appenzell Rh.-Int.	0.41	0.20	41 023	21	615.14	0.17	26*	58.50	0.63	25	36.97	0.43	24	112.60	0.59	26*
4	Bâle-Campagne	1.25	3.6	50 678	7	13338.37	3.73	9	130.14	1.40	17	145.77	1.70	15	225.20	1.19	18
5	Bâle-Ville	0.08	2.55	73 748	2	13781.41	3.86	8	2.73	0.03	26*	3.20	0.04	26*	294.91	1.56	16
6	Berne	14.43	12.98	42 647	18	40524.03	11.35	2	1571.09	16.9*	1*	1244.81	14.52*	2	1769.46	9.35*	3
7	Fribourg	4.09	3.32	38 852	22	9428.70	2.64	14	582.94	6.28*	6	299.49	3.49	10	664.89	3.51	9
8	Genève	0.68	5.73	52 511	6	22015.72	6.16	5	71.31	0.77	22	26.24	0.31	25	1179.64	6.23	7
9	Glaris	1.65	0.52	52 600	5	2018.80	0.57	23	127.25	1.37	18	139.44	1.63	17	187.67	0.99	21
10	Grisons	17.2	2.54	44 085	12	8204.54	2.30	15	1289.25	13.8*	2	1278.39	14.92*	1*	3324.44	17.56*	1*
11	Jura	2.03	0.95	35 230	26*	2437.84	0.68	20	251.74	2.71	11	249.78	2.91	11	278.82	1.47	17
12	Lucerne	3.61	4.81	41 746	20	14707.56	4.12	7	497.44	5.36*	7	302.93	3.53	9	670.25	3.54	8
13	Neuchâtel	1.94	2.28	42 605	19	7096.24	1.99	17	205.38	2.21	15	210.52	2.46	13	643.44	3.40	10
14	Nidwald	0.66	0.53	56 213	4	2186.52	0.61	22	63.72	0.69	24	61.21	0.71	21	219.84	1.16	19
15	Obwald	1.18	0.45	36 315	25	1198.39	0.34	25	113.19	1.22	19	132.87	1.55	18	187.67	0.99	20
16	Schaffhouse	0.72	1.01	50 441	8	3728.43	1.04	19	81.79	0.88	21	86.70	1.01	20	128.69	0.68	24
17	Schwyz	2.2	1.82	50 387	9	6719.62	1.88	18	226.20	2.44	13	206.27	2.41	14	380.70	2.01	15
18	Soleure	1.91	3.37	43 820	14	10801.91	3.02	11	208.95	2.25	14	230.18	2.69	12	536.20	2.83	12
19	Saint-Gall	4.9	6.22	43 531	15	19815.26	5.55	6	590.79	6.36*	5	417.69	4.87	6	402.15	2.12	14
20	Tessin	6.8	4.3	37 020	23	11645.22	3.26	10	320.99	3.46	10	924.89	10.79*	3	1286.88	6.80*	6
21	Thurgovie	2.4	3.14	43 130	17	9914.88	2.78	13	244.89	2.64	12	143.56	1.67	16	171.58	0.91	22
22	Uri	2.6	0.48	43 999	13	1550.57	0.43	24	159.95	1.72	16	132.04	1.54	19	589.82	3.12	11
23	Valais	12.6	3.84	36 489	24	10254.39	2.87	12	645.78	6.95*	4	802.70	9.37*	4	2198.42	11.62*	2
24	Vaud	7.78	8.64	49 290	10	31151.49	8.72	3	848.84	9.14*	3	688.32	8.03*	5	1286.88	6.80*	5
25	Zoug	0.57	1.4	77 309	1*	7904.66	2.21	16	65.14	0.70	23	44.57	0.52	23	160.86	0.85	23
26	Zürich	4.18	16.98	61 970	3	77008.81	21.56	1*	456.86	4.92	8	357.65	4.17	7	1715.84	9.07*	4
	SUISSE			48 495.85		357 128.30			9 285.34			8 571.08			18 927.80		

Bibliographie

- **AMBIO.** 1994. Integration Earth System Science. R.S.A.S., vol. XXII, no 1.
- **Ashby RW.** 1956. Introduction à la cybernétique. Dunod, Paris.
- **Association Métropole Suisse.** 2002. Charte pour l'avenir d'une Suisse urbaine. Zurich.
- **Atkins GL.** 1973. Modèles à compartiments multiples pour les systèmes biologiques. Gauthier – Villars, Paris.
- **Baark E, Svedin U.** 1988. Man, Nature and Technology: Essays on the Role of Ideological Perception. MacMillan Press, Houndsmill, UK.
- **Bartlein PJ, Prentice IC.** 1990. Orbital variations, climate and paleoecology. Tree, 4:195-199.
- **Bassand M.** 2004. La métropolisation de la Suisse. PPUR, Lausanne.
- **Beniston M.** 1993. Prévisions climatiques pour les Alpes: une revue des techniques de régionalisation. La Météorologie, 45: 38-44.
- **Beniston M.** 2004. Climatic Change and its Impacts. An Overview Focusing on Switzerland. Kluwer, Dordrecht.
- **Beniston M, Rebetez M, Giorgi F, Marinucci MR.** 1994. An analysis of regional climate change in Switzerland. Theoretical and Applied Climatology 49:135-159.
- **Bourg D** (éd). 1993. La Nature en politique. L'Harmattan/Association Descartes, Paris.
- **Brooks DR, Wiley EO.** 1986. Evolution as Entropy. The University of Chicago Press, Chicago.
- **Brown MT, Ugliati S.** 1998. From Biosphere to Society: Emergy perspective on environ-mental services and natural capital. *In*: Greppin, H. et al. (eds). The Co-Action between Living Systems and the Planet. University of Geneva, Geneva, pp 179-199.
- **Budyko MI.** 1986. The Evolution of the Biosphere. D.Reidel, Dordrecht.
- **Bürgenmeier B, Greppin H, Perret S.** 2007. Economie aux frontières de la Nature. L'Harmattan, Paris.
- **Chambers N, Simmons C, Wackernagel M.** 2000. Sharing Nature' Interest: ecological footprint as an indicator of sustainability. Earthscan, London.
- **Cocks LRM** (ed). 1981. The Evolving Earth. Cambridge University Press, Cambridge.
- **Coppens Y, Picq P.** 2002. Aux origines de l'humanité (2 vol.). Fayard, Paris.
- **Crowley TJ, North YR.** 1991. Paleoclimatology. Oxford University Press, N.Y.
- **Dasgupta P, Mäler, KG.** 2004. The Economics of Non-Convex Ecosystems. Kluwer, Dordrecht.
- **Diamond J.** 2005. Collapse. Viking Penguin, N.Y.
- **Edwards N, Greppin H, Haurie A, Viguier L.** 2005. Linking Climate and Economic Dynamics. In: Haurie, A., Viguier, L. (eds). Linking Climate and Economic Dynamics. Springer V., Dordrecht, pp 1-34.
- **Farvar TM, Milton PJ** (eds). 1972. The Careless Technology. Doubleday and Co, N.Y.
- **Faucheux S, Noël JF.** 1995. Economie des ressources naturelles et de l'environnement. Armand Colin, Paris.
- **Flückiger S, Rieder P.** 1997. Klimaänderung und Landwirtschaft-Ökonomische Implikationen innerhalb der Landwirtschaft und ihres Umfeldes aus globaler, nationaler und regionaler Sicht. Vdf Verlag der Fachvereine ETH, Zürich.
- **Gastner MT, Newman MEJ.** 2004. Diffusion-based method for producing density-equalizing maps. Proc Nat Acad Sci USA, 101: 7499–7504.
- **Giordan A, Souchon C.** 1992. Une Education pour l'Environnement. Z'éditions, Nice.
- **Gorshkov VG, Gorshkov VV, Makarieva AM.** 2000. Biotic Regulation of Environ-ment: key issue of global change. Springer Verlag, Berlin.
- **Greppin H.** 1978. Ecologie humaine et enveloppes de viabilité. Méd.& Hyg., Genève, 36: 3589-3594.
- **Greppin H, Bonzon M,Degli Agosti R** (eds). 1993. Some physicochemical and mathematical tools for understanding of living systems. University of Geneva, Geneva.
- **Greppin H, Degli Agosti R, Penel C** (eds). 1998. The Co-Action between Living Sys-tems and the Planet. University Geneva, Geneva, 350 p.
- **Greppin H, Degli Agosti R, Hussy C.** 2000. Fondement naturel pour un développement durable: les enveloppes physiques, chimiques et biologiques de viabilité. Archs. Sci., 53:7-42.
- **Greppin H, Degli Agosti R, Priceputu AM.** 2002. From Viability Envelopes to Sustainable Societies: a Place for various and efficient economical and cultural Expressions on the Planet. Archs. Sci., 55:125-148.
- **Greppin H, Priceputu AM.** 2002. Dialectique du bioespace et de l'écoespace: émergence de la territorialité, de la biocénose aux sociétés. Cahiers géographiques (Genève), 4: 27-38.
- **Greppin H, Degli Agosti R, Priceputu AM.** 2003. L'espace de phase thermique et atmosphérique, expression de la capacité homéostatique climatique, et développement durable. Archs. Sci., 56:95-116.
- **Haurie A, Viguier L.** 2005. Linking Climate and Economic Dynamics. Springer V., Dordrecht.
- **Hussy C** (éd). 2002. La territorialité, une théorie à construire. Cahier géographique (GE), no 4: 1- 268 .
- **IPCC. 2001.** Climate Change 2001, 3 vol. (Geneva: WMO and UNEP). Cambridge University Press, Cambridge and N.Y.
- **Jakubec J** (éd.). 2004. Le développement durable. Georg, Genève.
- **Jablonka E, Lamb MJ.** 1995. Epigenetic Inheritance and Evolution: the Lamarckian Dimension. Oxford Univ Press, Oxford, UK.
- **Jonas H.** 1990. Le principe responsabilité, une éthique pour la civilisation technologique. Cerf, Paris.
- **Lamprecht I, Zotin AI.** 1985. Thermodynamics and Regulation of Biological Processes. W. de Gruiter, Berlin.
- **Langaney A, Guilaine J, Clottes J, Simonnet D.** 1998. La plus belle histoire de l'homme. Comment la terre devint humaine. Seuil, Paris.
- **Le Moigne JL.** 1991. La modélisation des systèmes complexes. Dunod, Paris.

- **Lenton TM, Williamson MS, Edwards NR, Marsh R, Price AR, Ridgwell AJ, Shepherd JG, Cox SJ, The GENIE team.** 2006. Millennial timescale carbon cycle and climate change in an efficient Earth system model. Climate Dynamics, 26: 687-711.
- **Luterbacher U, Sprinz DF.** 2001. International Relation and Global Climate Change. The MIT Press, Cambridge.
- **Pillet G.** 2006. Economie de l'environnement. Ecologie de l'économie. Helbing & Lichtenhahn, Bâle.
- **PNUD.** 1999. Rapport mondial sur le développement mondial. De Boeck Université, Bruxelles.
- **PNUE.** 2006. GEO Yearbook. An overview of our changing environment. UNEP, Nairobi.
- **Priceputu AM.** 2006. Impacts des changements climatiques et vulnérabilité régionales en Suisse. Thèse no 3719. Université de Genève, Genève.
- **Priceputu AM, Greppin H.** 2005. Modelling Climate Change Impacts and Vulnerability in Switzerland. *In*: Haurie, A., Viguier, L. (eds). The Coupling of Climate and Economic Dynamics. Springer V., Dordrecht, pp 355-381.
- **Priceputu AM, Greppin H, Degli Agosti R.** 2005a. Enveloppes de viabilité territoriale et changement climatique en Suisse. Cahiers géographiques (Genève), no 6:1-122.
- **Priceputu A, Greppin H, Degli Agosti R.** 2005b. Assessing the vulnerability related to climate change in Switzerland. WP4-31. http://ecolu-info.unige.ch/recherche/nccrwp4/workingpapers.htm
- **Priceputu AM, Greppin H, Degli Agosti R.** 2006. Sustainability Assessment in Switzer-land: a sub-national approach. Arch. Sci., 59: 75-94.
- **Prigogine I.** 1967. Introduction à la thermodynamique des processus irréversibles. Dunod, Paris.
- **Racine JB, Raffestin C** (éds). 1990. Nouvelle Géographie de la Suisse et des Suisses. Payot, Lausanne.
- **Raffestin C.** 1980. Pour une géographie du pouvoir. Litec, Paris.
- **Raffestin C.** 1986a. Ecogenèse territoriale et territorialité. In: Auriac, F., Brunet, R. (dir.). Espace, jeux et enjeux, Fayard, Paris, pp 173-185.
- **Raffestin C.** 1986b. Territorialité: concept ou paradigme de la géographie sociale. Geographica helvetica, 2: 91-96.
- **Ramade F.** 1994. Eléments d'écologie fondamentale et appliquée (2 vol.). McGraw-Hill, Paris.
- **Rambler MB, Margulis L, Forster R.** 1989. Global Ecology: towards a Science of the Biosphere. A.P., London.
- **Rebetez M.** 2002. La Suisse se réchauffe. PPUR, Lausanne.
- **Rens I, Jakubec J** (éds). 1996. Le droit international face à l'éthique et à la politique de l'environnement. SEBES, Georg, Genève.
- **Rich A.** 1994. Ethique économique. Labor et Fides, Genève.
- **Ruddiman WH.** 2001. Earth's Climate: Past and Future. W.H., Freeman, San Francisco.
- **Schellnhuber HJ, Wenzel V.** 1998. Earth System Analysis: Integrating Science for Sustainability. Springer Verlag, Berlin.
- **Schnakenberg J.** 1977. Thermodynamic network analysis of biological systems. Springer V., Heidelberg.
- **Schuler M, Dessemontet P, Jemelin C, Jarne A, Pasche N, Haug W.** 2007. Atlas des mutations spatiales de la Suisse. V.NZZ, Zürich.
- **Sen Amartya.** 2001. Development as Freedom. Oxford University Press, N.Y.
- **SSES.** 2007. Energies renouvelables, no 5: 1-39.
- **Stavins RN.** 2000. Environmental Economics and Public Policy.
- **Taube M.** 1985. Evolution of Matter and Energy. Springer Verlag, N.Y.
- **Thellier M, Ripoll L.** 1992. Bases thermodynamiques de la biologie cellulaire. Masson, Paris.
- **Turner BL, Clark WC, Kates RW, Richards JJ, Mathews JT, Meyer WB.** 1990. The Earth as Transformed by Human Action. Cambridge Univ Press with Clark Univ., Cambridge.
- **Van den Bergh J.** 1996. Ecological Economics and Sustainable Development: Theory, Methods and Applications. Edward Elgar Publ., London.
- **Victor PA, Kay JJ, Ruitenbeek HJ.** 1991. Economic, ecological and decision theories: indicators of ecologically sustainable development. Canadian Environmental Advisory Council, Otawa.
- **Von Stokar T, Steinemann M, Rüegge B, Schmil J (Locher, Schmil, Van Wezemael & Partner AG).** 2006. L'empreinte écologique de la Suisse: une contribution au débat sur la durabilité. OFS, Neuchâtel.
- **Wackernagel M, Rees W.** 1996. Notre empreinte écologique. Ecosociété, Montréal.
- **Wackernagel M, Onisto L, Linares AC, Falfan ISL, Garcia JM, Suarez Guerrero AI, Suarez Guerrero MG.** 1999. National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept. Ecological Economics, 29: 375-390.
- **Wackernagel M, Monfreda C, Deumling D.** 2002. Ecological Footprint of Nations. November 2002 Updates: How much nature do they use? How much nature do they have? http://www.RedefinigProgress.org/publications/ef1999.pdf.
- **Wackernagel M, Monfreda C, Moran D, Wermer P, Goldfinger S, Deumling D, Murray M.** 2005. National Footprint and Biocapacity Accounnts 2005: The underlying calculation method. http://www.footprintnetwork.org/
- **WCED.** 1987. Our Common Future (The Brundtland commission). Oxford Univ Press, Oxford.
- **Weart SR.** 2003. The Discovery of Global Warming. Harvard Univ Press, Cambridge, Mass.
- **WRI.** 2005. Earth Trends Environmental Information Database. http://earthtrends.wri.org/searchable_db/