Journée Swissmem 2023

«La durabilité dans la formation professionnelle – rêve ou réalité?»

Compétences pour un développement industriel durable

Prof. (hon.) Suren ERKMAN

suren.erkman@unil.ch

Faculté des géosciences et de l'environnement, UNIL Senior Advisor, dss+

Yverdon-les-Bains, 27 janvier 2023

SOFIES (Solutions for Industrial Ecosystems) Genève – Zurich – Paris – Londres - Bangalore www.sofiesgroup.com

Mise en œuvre de solutions de durabilité pour les entreprises, les collectivités publiques, et les organisations internationales.



Co-fondée en 2008:

- Guillaume Massard
- David Rochat
- Benoît Charrière
- Suren Erkman

- Gestion des déchets électroniques
- Parcs éco-industriels
- Symbioses industrielles
- Etudes de métabolisme régional
- Innovation agro-territoriale
- Etc.

1er Juillet 2022:

Sofies fusionne avec DSS, et devient dss+

+ 1'000 collaborateurs dans ~ 40 pays.



https://www.consultdss.com

Contexte «environnemental»:

Pollutions:

- Problèmes environnementaux globaux
- Problèmes environnementaux locaux et universels

Contexte «environnemental»:

Pollutions:

- Problèmes environnementaux globaux
- Problèmes environnementaux locaux et universels

Ressources:

- Accès aux matières premières
- Accès aux agents énergétiques

Contexte «durabilité»:

- Aspirations à une société «plus durable»
- Contestation du modèle économique dominant
- · Besoin de sens, désirs de sobriété, etc.

Contexte «durabilité»:

- Aspirations à une société «plus durable»
- Contestation du modèle économique dominant
- · Besoin de sens, désirs de sobriété, etc.

- Instrumentalisation des enjeux de durabilité
- Idéologies catastrophistes (effondrement)

Contexte entrepreneurial:

- Maintien des marges
- Energie (accessibilité, coûts)
- Matières premières
- Salaires
- Compétences
- Inflation

Bas fourneaux de la forêt des Bellaires (Romainmôtier) 4^e-6^e siècle de notre ère



Economies et technologies «proto-industrielles»:

- Métallurgie (très anciennes traditions sur tous les continents)
- Aménagements hydrauliques (irrigation, agriculture, transports)
- Energie éolienne (moulins à vent)
- Energie hydraulique (moulins à eau)
- Charbon de bois
- Techniques agricoles
- Techniques de construction
- Etc.

Au cours du 18e siècle en Europe,

débuts de la «Révolution industrielle»

Caractéristique cruciale

du processus d'industrialisation?

La particularité principale du système industriel

l'abondance énergétique

Qu'est-ce qui a rendu possible cette abondance énergétique ?

Machine à vapeur de James Watt, 1781

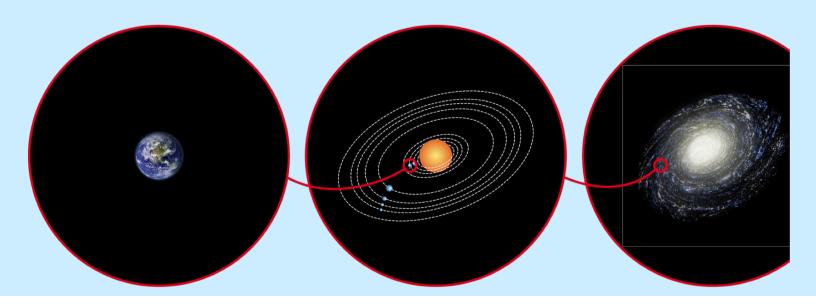
Une innovation «disruptive» et «autocatalytique»



Echelle de Kardashev (1964):

Civilisations classées selon leur capacité à utiliser de l'énergie

- Civilisations de type 1: Energie d'une planète ($\sim 10^{13} / \sim 10^{17} \text{ W}$)
- Civilisations de type 2: Energie d'une étoile ($\sim 10^{26}$ W)
- Civilisations de type 3: Energie d'une galaxie ($\sim 10^{37}$ W)
- Civilisations de type 4 (Michio Kaku): Dark Matter

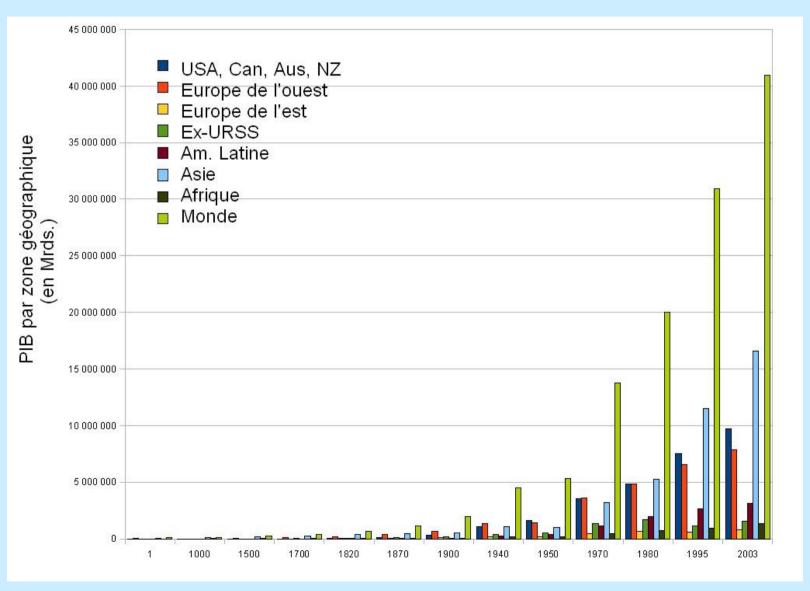


Dynamique du processus d'industrialisation

Trois tendances principales:

• Le système industriel est en pleine expansion

Industrialisation et croissance économique mondiale Le processus global d'industrialisation se poursuit aujourd'hui



(Source: Angus Maddison, OCDE)

Fort développement industriel actuellement en cours dans de nombreux pays émergents:

Ethiopie, Egypte, Rwanda, Ghana, Sénégal, Côte d'Ivoire, Vietnam, Indonésie, Thaïlande, Colombie, Perou, etc. – principalement sous forme de parcs industriels.

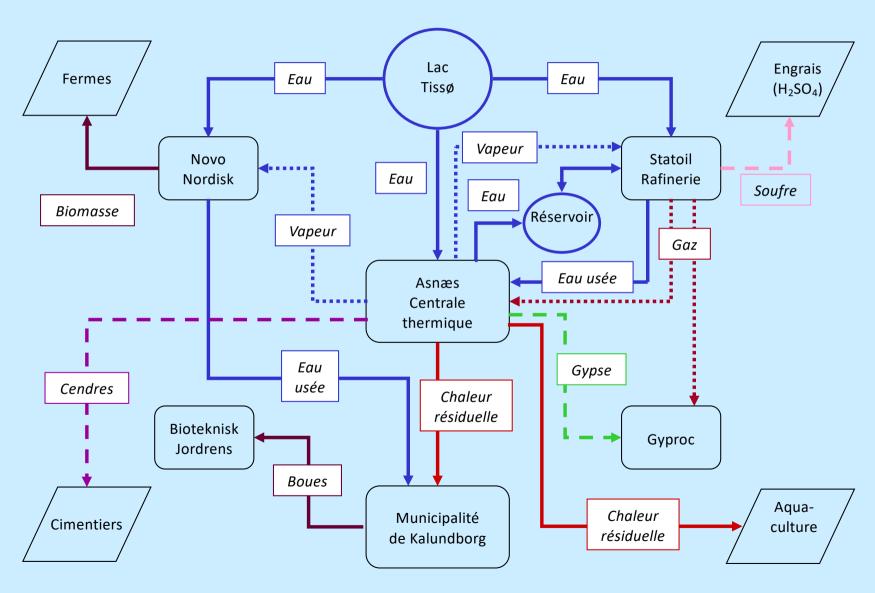
Exemple: Hawassa Industrial Park (Textile), Ethiopie, inauguré en 2017



Parc industriel textile de Hawassa, Ethiopie. Photo: Nadia Zuodar

La Symbiose industrielle de Kalundborg

http://www.symbiosis.dk/en



Dynamique du processus d'industrialisation

Trois tendances principales:

• Le système industriel est en pleine expansion

• Accélération technologique:

Dynamique du processus d'industrialisation

- Accélération technologique:
 - numérisation,
 - intelligence artificielle,
 - nanotechnologies,
 - «Industrie 4.0»,
 - «New Space»,
 - etc.

Géopolitique:

Course à la supériorité technologique

ISPI/Brookings, 2019

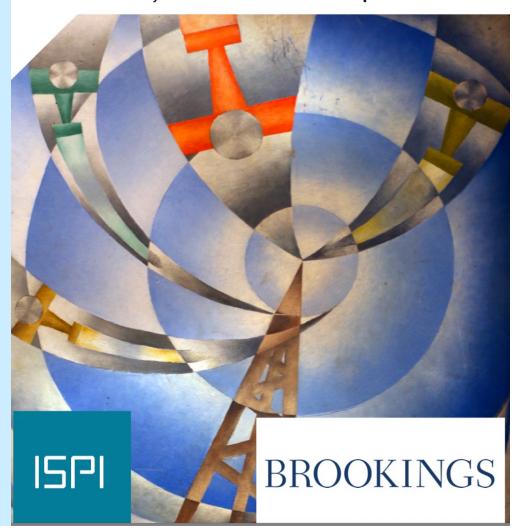
Ecole de guerre économique:

https://www.ege.fr

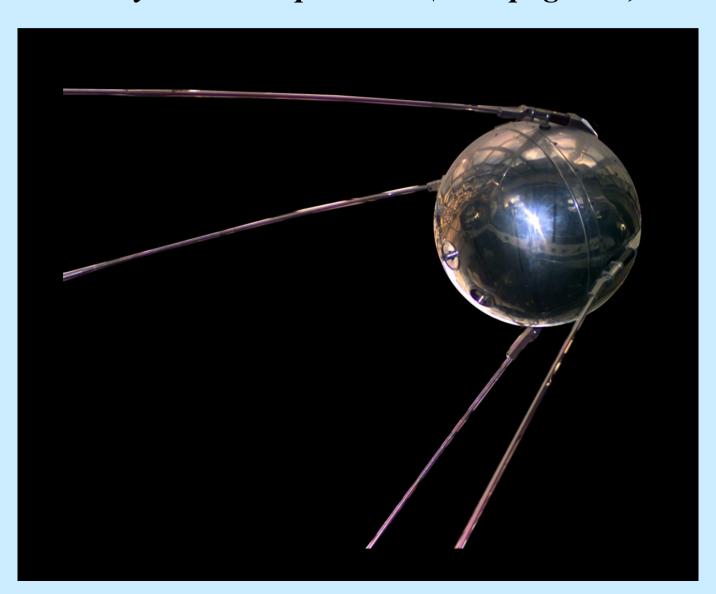
THE GLOBAL RACE FOR TECHNOLOGICAL SUPERIORITY

DISCOVER THE SECURITY IMPLICATIONS

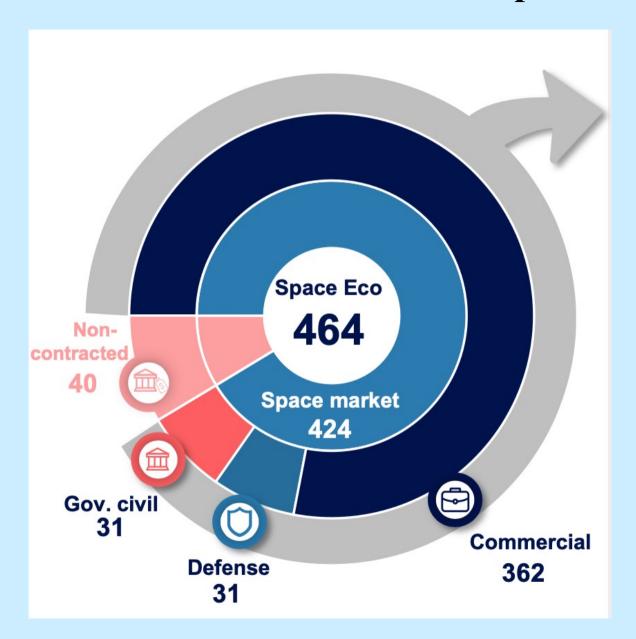
edited by **Fabio Rugge** introduction by **John R. Allen** and **Giampiero Massolo**



4 octobre 1957: Lancement du premier satellite artificiel Спутник I - Spoutnik 1(«сотрадпоп»)



Essor de l'économie du «New Space»



Source: Euroconsult, Space Economy Report, janvier 2023.

Législation adoptée en 2015 par le Congrès américain pour favoriser l'exploitation des ressources spatiales (ressources minières de la lune, des astéroïdes notamment).

114TH CONGRESS

1st Session HOUSE OF REPRESENTATIVES REPORT
114–153

SPACE RESOURCE EXPLORATION AND UTILIZATION ACT
OF 2015

JUNE 15, 2015.—Committed to the Committee of the Whole House on the State of the Union and ordered to be printed

Strengthening U.S. private sector in-situ asteroid resource exploration and utilization

The successful exploration and use of in-situ asteroid resources is an important step in humanity's development and is in the national interests of the United States. Continued private sector investment in resource exploration and utilization is threatened by uncertainty as to the rights of U.S. private entities to remove, take possession of, and use in-situ asteroid resources. The committee finds it is imperative that the United States enact into law domestic legislation that gives effect to *Outer Space Treaty* provisions relevant to private sector in-situ asteroid resource removal, possession, and use.

Concernant l'exploitation commerciale de l'espace, le Luxembourg est le pays le plus en pointe en Europe. Ci-dessous, législation promulguée en 2017 par le Grand-Duc de Luxembourg.

JOURNAL OFFICIEL



DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

MÉMORIAL A

N° 674 du 28 juillet 2017

Loi du 20 juillet 2017 sur l'exploration et l'utilisation des ressources de l'espace.

Nous Henri, Grand-Duc de Luxembourg, Duc de Nassau,

Notre Conseil d'État entendu;

De l'assentiment de la Chambre des Députés;

Vu la décision de la Chambre des députés du 13 juillet 2017 et celle du Conseil d'État du 14 juillet 2017 portant qu'il n'y a pas lieu à second vote;

Avons ordonné et ordonnons:

Art. 1er.

Les ressources de l'espace sont susceptibles d'appropriation.

En 2020: la Force spatiale américaine devient opérationnelle



https://www.spaceforce.mil

Space Elevator: Ascenseur spatial



https://www.isec.org

Dynamique du processus d'industrialisation

L'échelle pertinente pour réfléchir à l'évolution du système industriel n'est plus la planète Terre...

L'échelle pertinente est désormais le Système solaire.

En priorité: l'espace proche de la Terre (quelques dizaines de milliers de kilomètres, où se trouvent les satellites de télécommunications, de météo, d'observation, etc.), puis la Lune, certains astéroïdes et la planète Mars.

Dynamique du processus d'industrialisation

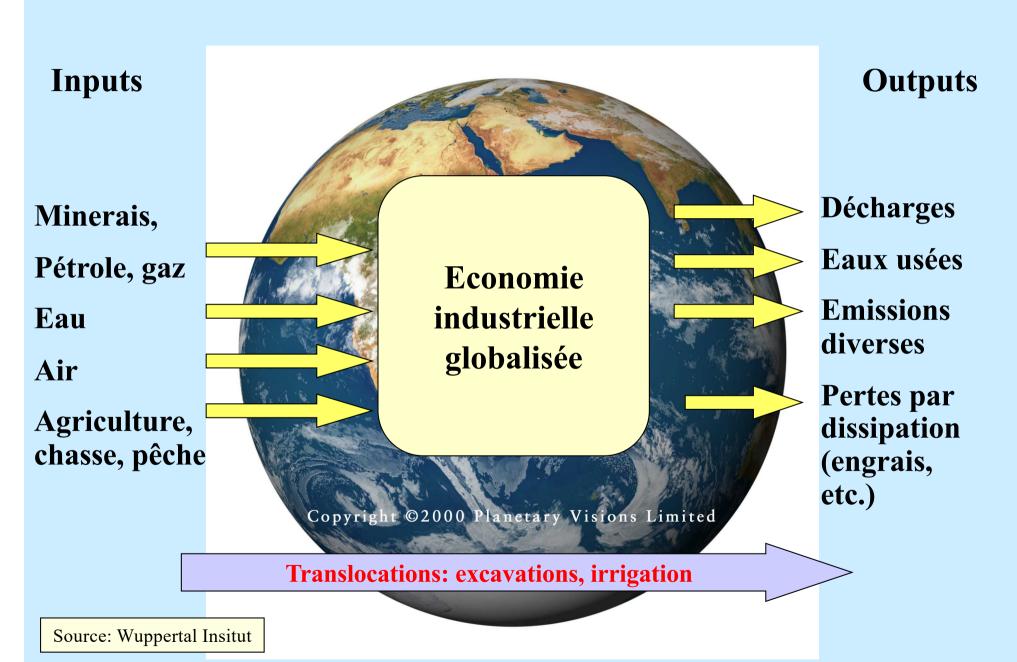
Trois tendances principales:

• Le système industriel est en pleine expansion

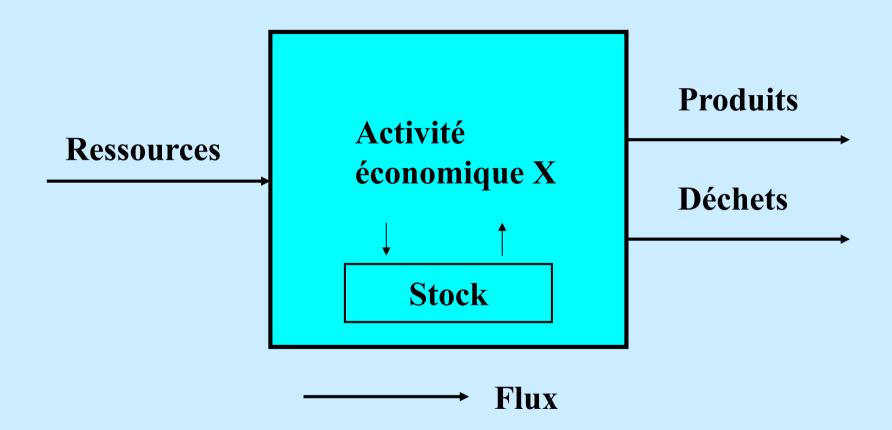
• Accélération technologique: numérisation, intelligence artificielle, Industrie 4.0, «New Space», etc.

• Développement durable

Métabolisme industriel: flux et stocks de matières



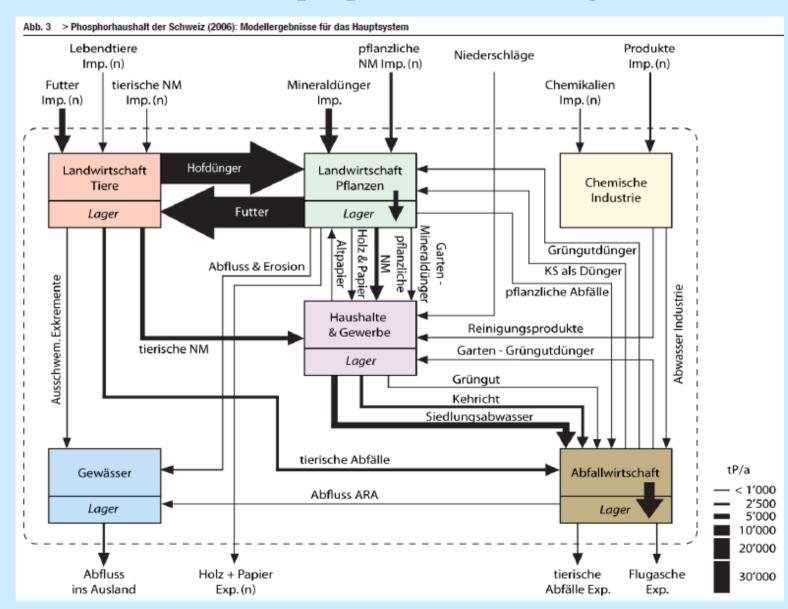
Métabolisme des ressources matérielles (Material Flow Analysis - MFA)



Principe: conservation de la masse et de l'énergie

Métabolisme du phosphore en Suisse

L'épaisseur des flèches est proportionnelle à la grandeur des flux



Document disponible seulement en allemand

OFEV, 2009

Institut fédéral de recherche sur les eaux en Suisse (EAWAG) Utilisation de toilettes séparatifs: WC «no mix»

Le bâtiment principal de l'EAWAG (près de Zurich) collecte l'urine des collaborateurs pour en faire de l'engrais.

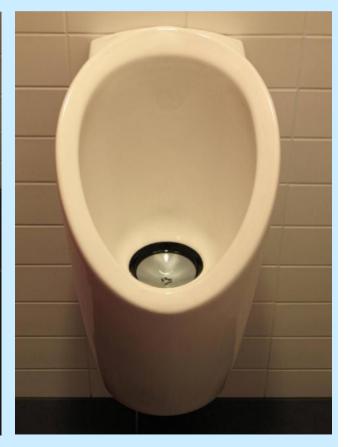
Voir: www.eawag.ch



Citerne récoltant l'urine



Toilette séparatif



Urinoir sans eau

Engrais dérivé de l'urine, commercialisé (sous le nom d'Aurin) par l'Institut fédéral de recherche sur les eaux (EAWAG)

NB: De telles solutions nécessitent au préalable une bonne connaissances des flux de ressources, d'où l'utilité des études d'analyse de flux de matière.

		zung (Minimalgehalte) teneurs minimales / minimum contents) [%]:		
4.2 0.4 1.8 1.7 0.8 3.1 0.0015 0.0001 0.0012 0.1	N P ₂ O ₅ K ₂ O Na SO ₃ CI B Fe Zn	Gesamtstickstoff / Azote total / Total Nitrogen Phosphat / Phosphate / Phosphate Kaliumoxid / Oxyde de potassium / Potassium Oxide Natrium / Sodium / Sodium Schwefeltrioxid / Anhydride sulfurique / Sulphur Trioxide Chlorid / Chlorure / Chloride Bor / Bore / Boron Eisen / Fer / Iron Zink / Zinc / Zinc Ges. org. Kohlenstoff / Carbone org. tot. / Tot. Org. Carbon	AURIN AURIN	
Als Blume Nur im F aufnahme Einzelpfla Flächen (Aufbewa aufbewah Verwendu entsorgt Tiere auf	en-, Ras reien u efähige inzen: pro m²; hrung iren. E ing zuf werder	rial: Separat gesammelter menschlicher Urin. sen- oder Zierpflanzendünger verwenden. und in gut belüfteten Räumen verwenden. Nur auf 1 Böden ausbringen. Anwendung (1 Mal pro Monat): 10 mL Flüssigdünger in 1 L Wasser verdünnen. 10: 50 mL Flüssigdünger in 5 L Wasser verdünnen. 11: Trocken und in verschlossenem Gebinde 11: Trocken und in verschlossenem Gebinde 12: Trocken und in verschlossenem Gebinde 13: Trocken und in verschlossenem Gebinde 14: Trocken und in verschlossenem Gebinde 15: Trocken und in verschlossenem Gebinde 16: Tr	www.vuna.ch	

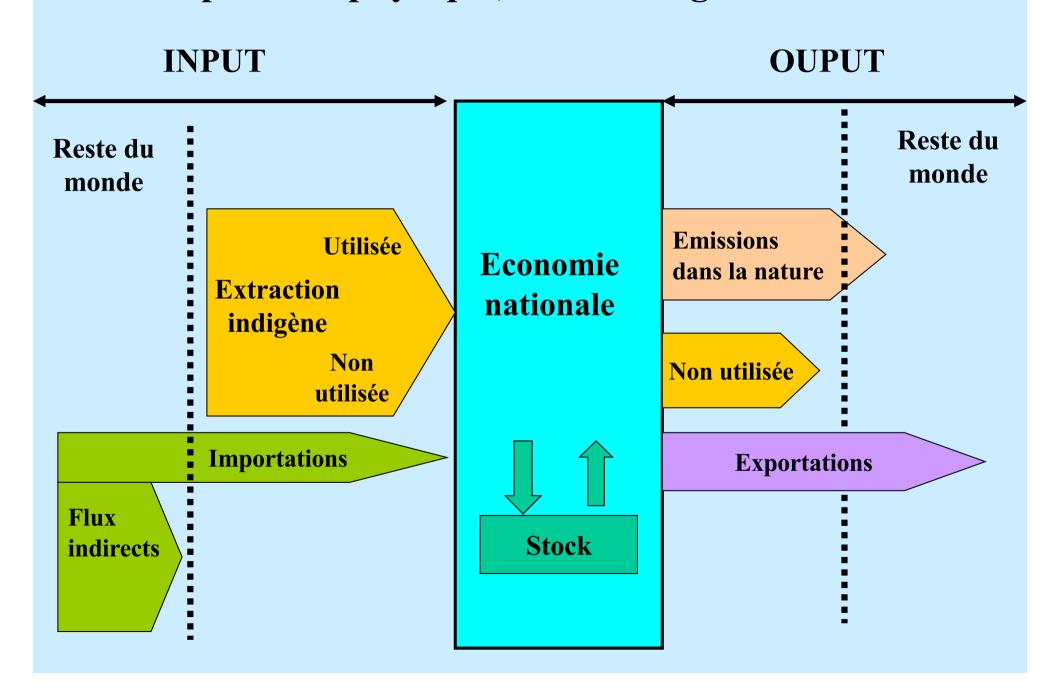
Voir le site de la start up: http://www.vuna.ch/index_fr.html

L'analyse des flux de matière (MFA), se trouve au cœur d'un développement institutionnel important: l'émergence de la

«comptabilité publique physique»

Tous les Etats disposent aujourd'hui d'un système de comptabilité publique: la comptabilité nationale, outil indispensable des politiques économiques et de développement.

Comptabilité physique, méthodologie de l'OCDE



Mise en œuvre du développement durable: deux méthodologies principales

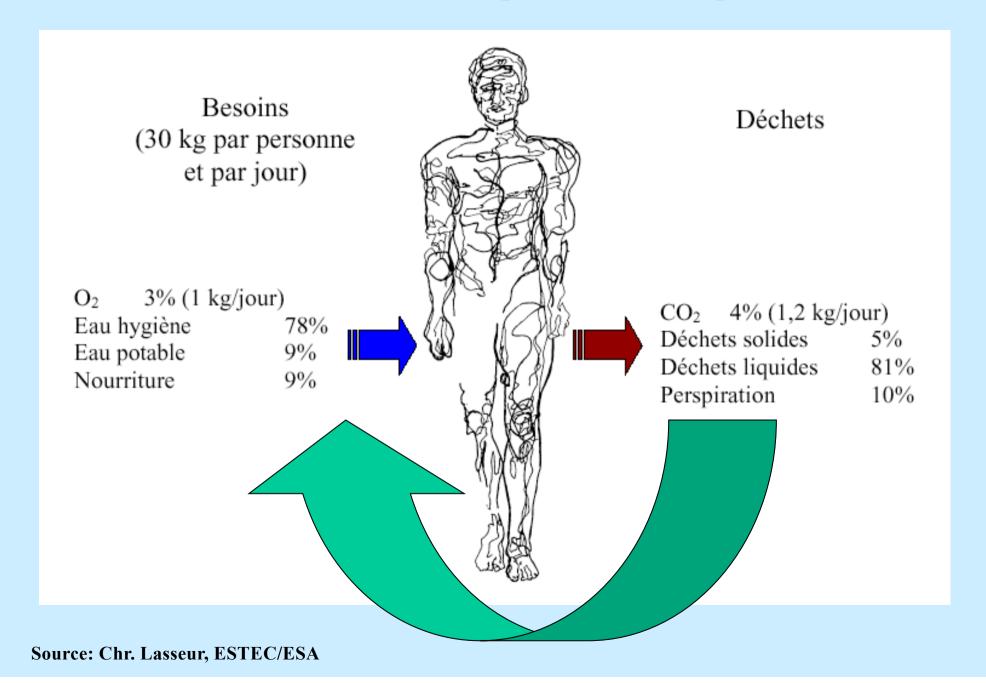
1) Métabolisme (Material Flow Analysis, MFA), qui étudie les flux de matière (et d'énergie)

Mise en œuvre du développement durable: deux méthodologies principales

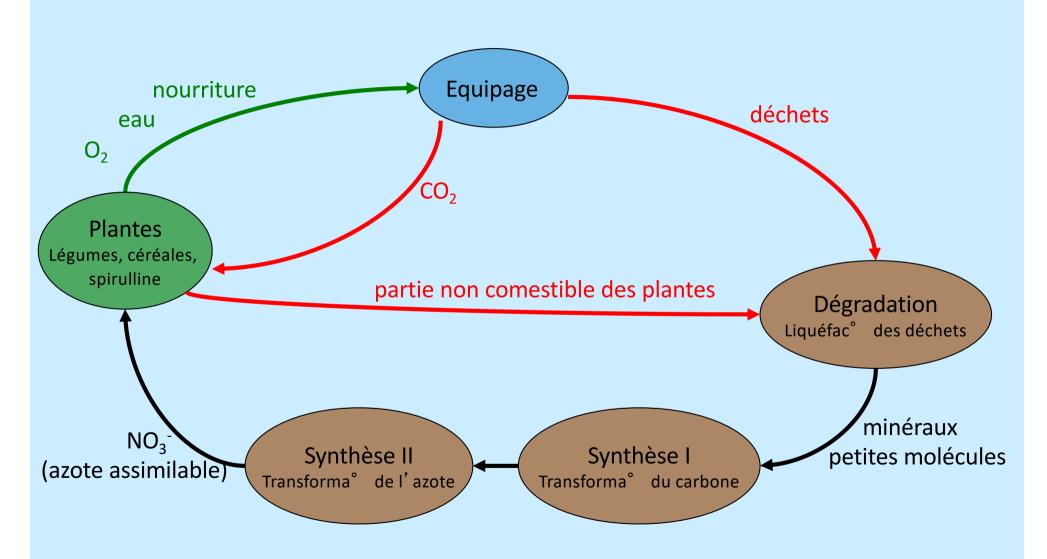
1) Métabolisme (Material Flow Analysis, MFA), qui étudie les flux de matière (et d'énergie)

2) Analyse du cycle de vie (ACV) / Life Cycle Analysis (LCA) qui étudie *les impacts potentiels*

Pour habiter Mars: s'inspirer de la Biosphère...



Recyclage ultime: écosystème clos artificiel



MELiSSA: Micro-Ecological Life Support System Alternative

Installation pilote de MELiSSA à Barcelone







Nouveau cycle du carbone: utilisations du CO₂



Le dioxyde de carbone, un déchet sans valeur?



• ~ 500 g de CO_2

Recharge de CO₂ Alco2Jet 60

Image: http://www.sodastream.ch/

Le dioxyde de carbone, un déchet sans valeur ?



Recharge de CO₂ Alco2Jet 60

- ~ 500 g de CO_2
- Soit ~ 40'000 CHF/tonne

Le coût de captage du CO₂ produit par fermentation éthanolique est d'environ 100 CHF/tonne

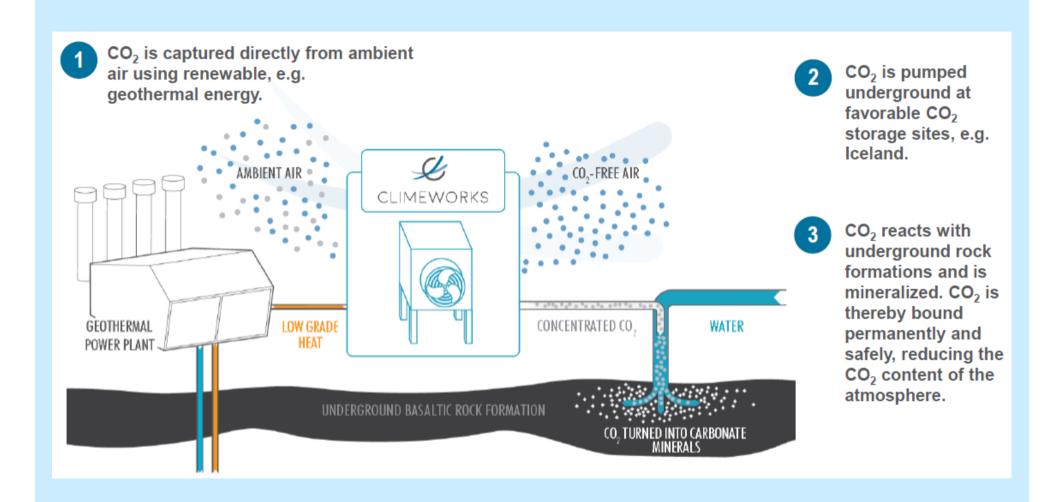
Image: http://www.sodastream.ch/

«Carbon Removal» = Capture du CO₂ dans l'air

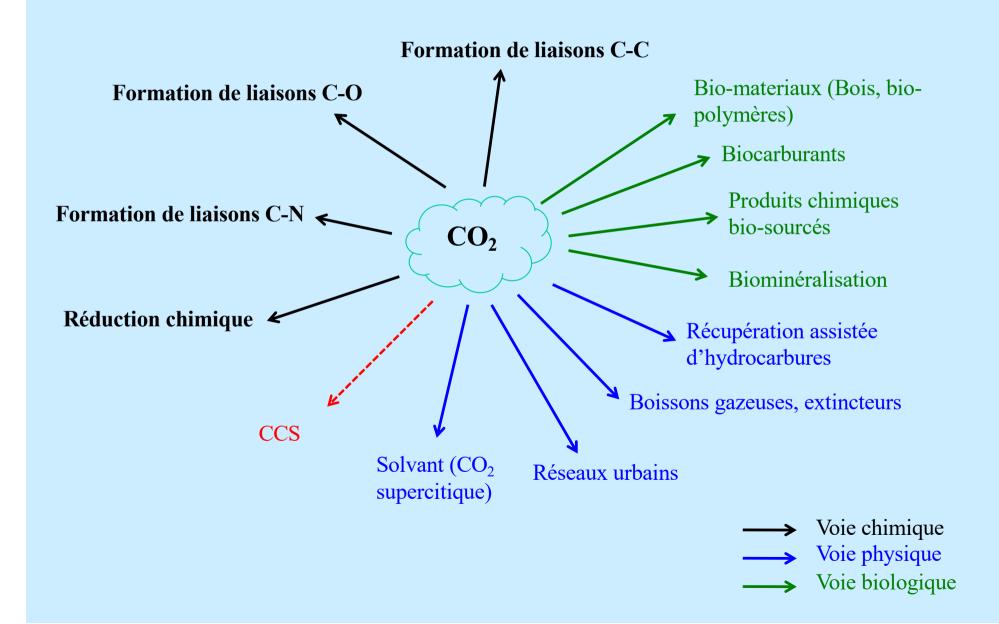
Installation de Climeworks en Islande (octobre 2021)



Minéralisation: Climeworks Orca (Islande)



Principales voies de valorisation du CO₂

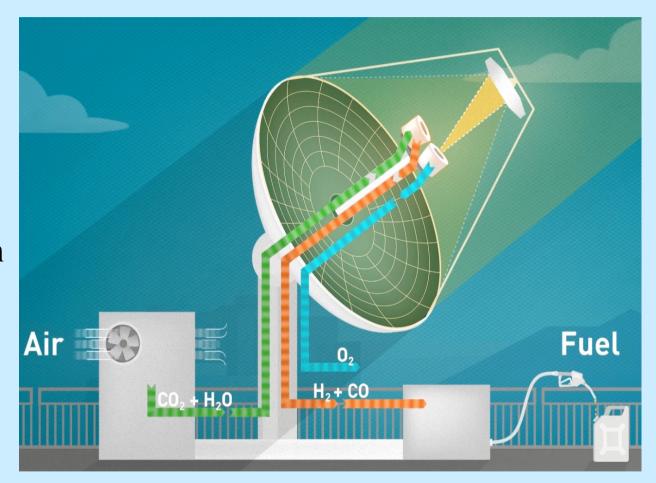


Carburants synthétiques: CO₂ + eau + solaire concentré «Power to Liquids» ou «e-fuels»: à partir d'électricité non fossile

Spin off de l'EPFZ:

Synhelion

https://synhelion.com



CO₂ et eau extraits de l'air, chauffés à 1'500 ° C par du rayonnement solaire concentré, pour former du gaz de synthèse (syngas), utilisé dans une reaction Fischer-Tropsch pour produire des carburants.

https://prec.ethz.ch/solarfuelsfromair.html

Carburants synthétiques: CO₂ + eau + solaire concentré «Power to Liquids» ou «e-fuels»: à partir d'électricité non fossile

Secteur industriel en «hyper-croissance»:

les SAF (Sustainable Aviation Fuels)

1er mars 2022: Accord entre Swiss Airlines et Synhelion

We turn sunlight into fuel.

And move the world toward net zero.



Détergents à partir de CO₂: d'une aciérie chinoise...aux étalages de la Migros

24 août 2020: Communiqué de presse de LanzaTech

Cleaning our Homes while Cleaning the Sky CarbonSmart™ Products hit the Stores in Switzerland!



• Analystes en métabolisme socio-industriel

- Analystes en métabolisme socio-industriel
- Comptables matière-énergie

- Analystes en métabolisme socio-industriel
- Comptables matière-énergie
- Défossiliseurs des chaînes de valeur

- Analystes en métabolisme socio-industriel
- Comptables matière-énergie
- Défossiliseurs des chaînes de valeur
- Dématérialiseurs produits et systèmes

• Gestionnaires de symbioses éco-industrielles

- Gestionnaires de symbioses éco-industrielles
- Desmologues territoriaux

- Gestionnaires de symbioses éco-industrielles
- Desmologues territoriaux
- Rudologues systémiques

- Gestionnaires de symbioses éco-industrielles
- Desmologues territoriaux
- Rudologues systémiques
- Diététiciennes régionales

- Gestionnaires de symbioses éco-industrielles
- Desmologues territoriaux
- Rudologues systémiques
- Diététiciennes régionales
- Optimiseurs de PSS (produits-services-systèmes)

- Gestionnaires de symbioses éco-industrielles
- Desmologues territoriaux
- Rudologues systémiques
- Diététiciennes régionales
- Optimiseurs de PSS (produits-services-systèmes)
- Etc... à vous de jouer !

• Compétences de base (Hard Skills)

Compétences de base (Hard Skills)

• Compétences complémentaires (Soft Skills)

Compétences de base (Hard Skills)

Compétences complémentaires (Soft Skills)

• Compétences transverses et intégratives (Systemic Skills)

• Compétences de base (Hard Skills)

• Compétences complémentaires (Soft Skills)

Compétences transverses et intégratives (Systemic Skills)

Compétences originales ou «déjantées» (Mad Skills)

«Mad Skills»

Ministère des Armées (France): Agence de l'innovation de défense



https://redteamdefense.org



Perspectives pour Swissmem (1):

• Le système industriel poursuit son développement...

...en se métamorphosant, tout en intégrant la durabilité;

Perspectives pour Swissmem (1):

• Le système industriel poursuit son développement...

...en se métamorphosant, tout en intégrant la durabilité;

• Rôle crucial des entreprises industrielles dans ce contexte pour leur contribution à des solutions réalistes;

Perspectives pour Swissmem (1):

• Le système industriel poursuit son développement...

...en se métamorphosant, tout en intégrant la durabilité;

• Rôle crucial des entreprises industrielles dans ce contexte pour leur contribution à des solutions réalistes;

• Nécessite de développer et transmettre de nouvelles compétences et expertises rationnelles et robustes;

Perspectives pour Swissmem (2):

• Démontrer des alternatives opérationnelles aux approches démotivantes («collapsologie»);

Perspectives pour Swissmem (2):

• Démontrer des alternatives opérationnelles aux approches démotivantes («collapsologie»);

• Valoriser la pertinence des solutions technologiques, sans escamoter les aspects négatifs (innovation responsable);

Perspectives pour Swissmem (2):

 Démontrer des alternatives opérationnelles aux approches démotivantes («collapsologie»);

• Valoriser la pertinence des solutions technologiques, sans escamoter les aspects négatifs (innovation responsable);

• Intégrer les enjeux de durabilité dans une perspective critique (en évaluant les possibles conséquences indésirables);

Pour conclure:

• Prendre les enjeux de durabilité au sérieux, mais...

...pas de quoi se laisser intimider ni décourager;

Pour conclure:

• Prendre les enjeux de durabilité au sérieux, mais...

...pas de quoi se laisser intimider ni décourager;

 Nous sommes confrontés à des défis inédits, mais nous disposons de moyens inédits pour les anticiper et y répondre;

Pour conclure:

• Prendre les enjeux de durabilité au sérieux, mais...

...pas de quoi se laisser intimider ni décourager;

• Nous sommes confrontés à des défis inédits, mais nous disposons de moyens inédits pour les anticiper et y répondre;

• Les milieux économiques peuvent y contribuer de manière décisive, tout en créant de nouvelles opportunités.

Journée Swissmem 2023

«La durabilité dans la formation professionnelle – rêve ou réalité?»

Compétences pour un développement industriel durable

Merci pour votre attention!

Prof. (hon.) Suren ERKMAN (suren.erkman@unil.ch)

Faculté des géosciences et de l'environnement, UNIL Senior Advisor, dss+

Explorit, Yverdon-les-Bains, 27 janvier 2023

