

Chaîne de fabrication du numérique*

Faiblesses et impacts

PAR STÉPHAN PECCINI



Email : stephan-pro@peccini.fr

28 avril 2025

Licence : CC BY-NC-ND 4.0



*. Ce document a été rédigé avec GNU T_EX_{MACS} ; voir www.texmacs.org.

Partons d'un constat

Ce constat est double :

- Le numérique responsable ne se diffuse pas correctement et les directions des organisations ne s'impliquent pas dans la transformation nécessaire :
 - La stratégie de communication autour des impacts ne fait pas le poids par rapport à deux axes : le numérique a une part très faible sur le bilan carbone (0,01%) et la sobriété nécessaire n'est pas compatible avec l'objectif de croissance
- Les risques liés au dépassement des limites planétaires ne sont pas intégrés à la bonne hauteur par les organisations

Faisons d'une pierre, deux coups !

Utilisons les risques pour faire converger les deux axes :

- Un comité de direction et le métier sont sensibles au sujet des risques mettant en jeu la pérennité de l'entreprise
- Le numérique responsable ne présente pas de désirabilité à ce niveau-là de l'organisation
- Une entreprise qui comprend ses vulnérabilités et travaille pour les gérer devient plus pérenne et capable de s'adapter ; elle donne ainsi confiance à ses clients et ce discours devient désirable

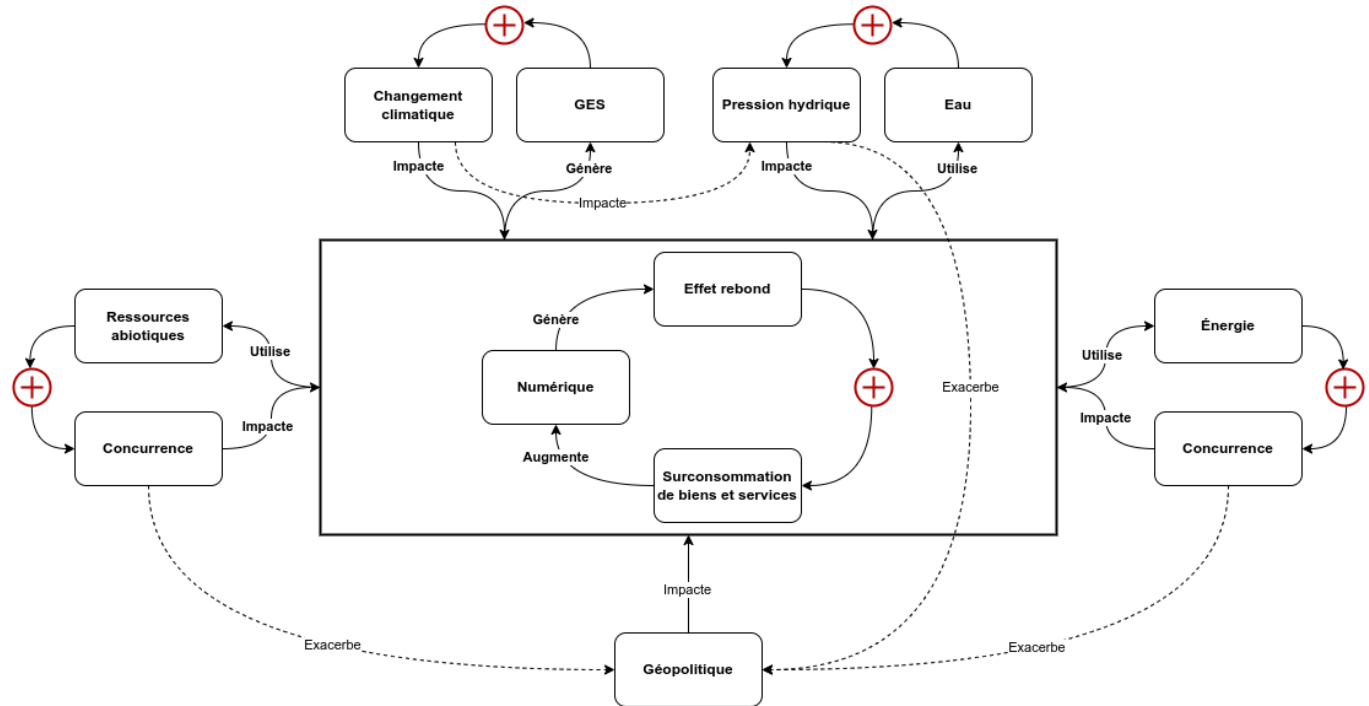
Ambitions

Cette recherche poursuit donc deux objectifs majeurs :

1. Le premier est de **sensibiliser** l'ensemble des décideurs, du monde industriel, politique ou territorial, à la nécessité de considérer la chaîne du numérique comme un ensemble de maillons interdépendants, allant de l'extraction de minerai jusqu'à l'assemblage final, en passant par la logistique et les infrastructures critiques
2. Le second objectif est d'**outiller** la prise de décision stratégique. En combinant les indices (IHH, IVC, ICS et ISG), les acteurs et utilisateurs du numérique pourront hiérarchiser leurs actions.

La situation

Impacts et rétroactions positives sur la chaîne de fabrication du numérique



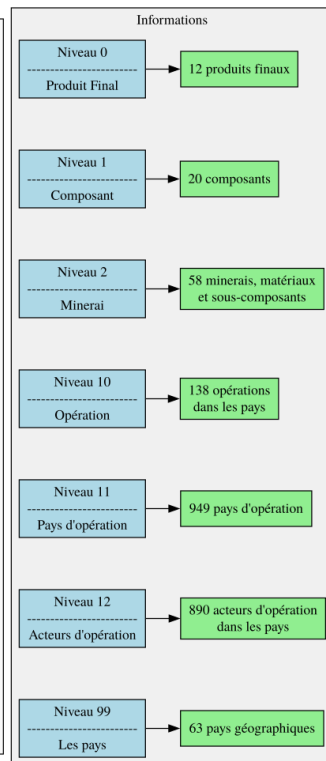
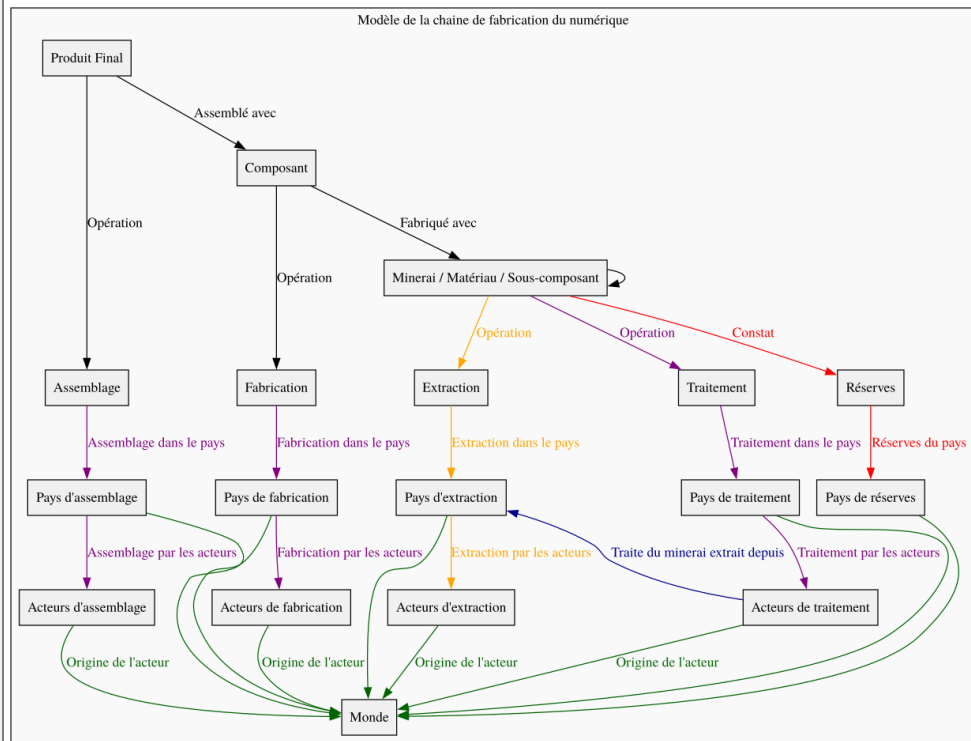
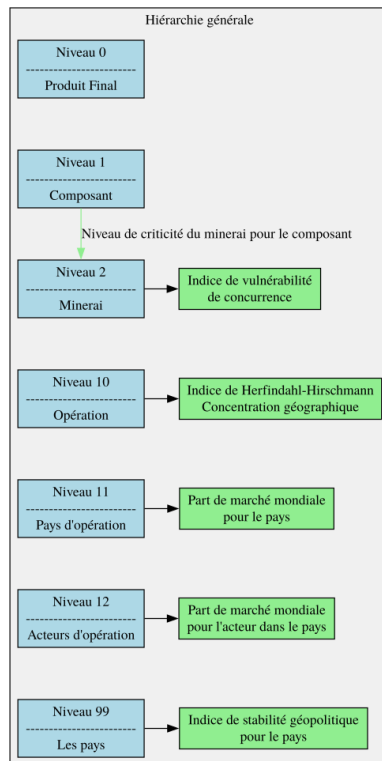
Technique employée

Afin de décrire concrètement cette chaîne complexe, nous avons choisi de recourir à une modélisation sous forme de graphe orienté, en utilisant la syntaxe DOT de Graphviz.

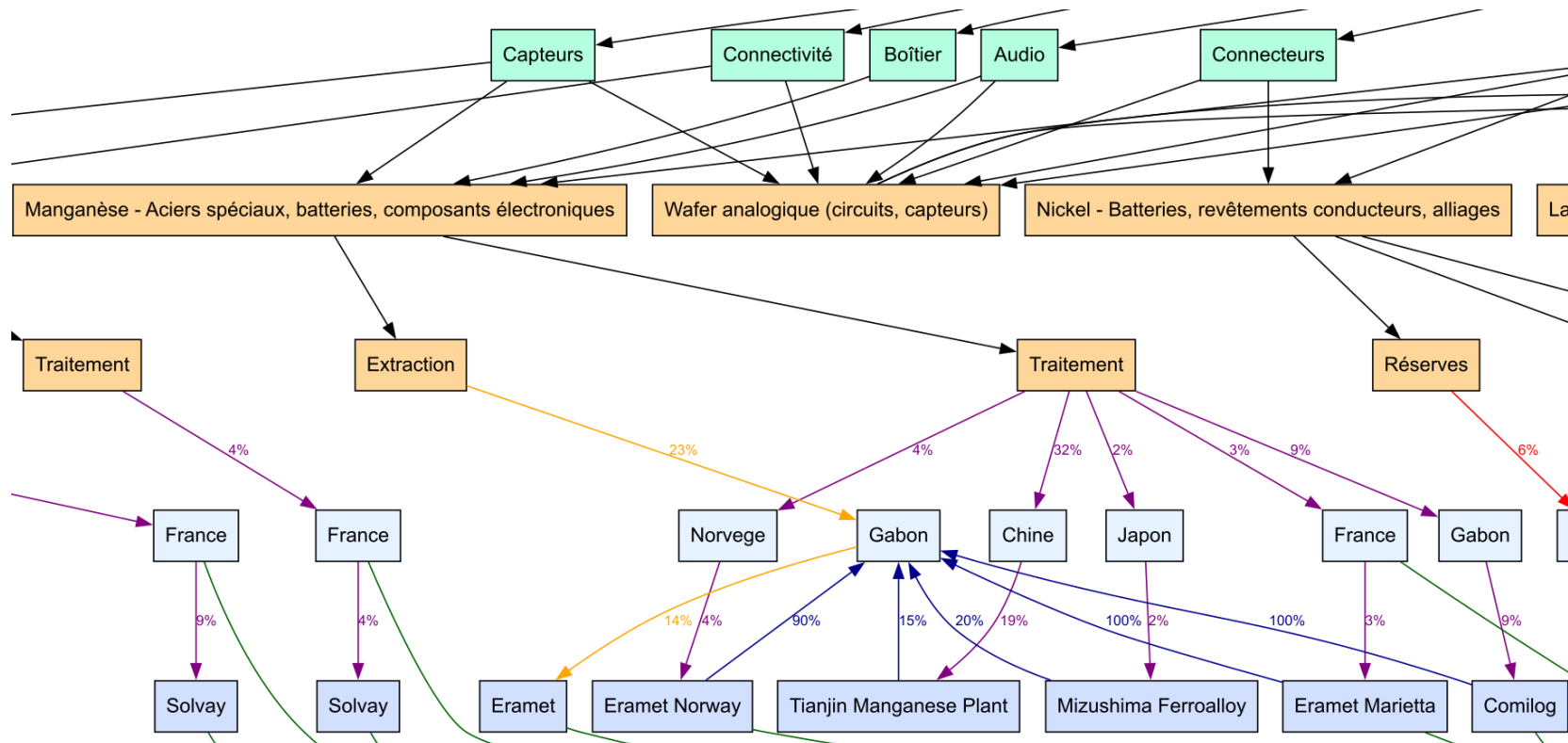
Ce choix permet d'expliciter chaque flux, de l'extraction jusqu'à la production de composants et l'assemblage final, au sein d'une représentation visuelle.

Nous y ajouterons des **sous-graphes** thématiques (logistique, ressources communes, outillage critique, etc.) qui viennent se connecter de manière indépendante, et sur lesquels nous reportons également les trois indices (IHH, IVC et ICS).

Le schéma de principe



Le schéma de principe - détail



Indice de Herfindahl-Hirschmann

Le premier indice, l'IHH, s'appuie sur un principe largement reconnu en économie.

Plus l'IHH est faible (typiquement en dessous de 15), plus le secteur considéré est diversifié en acteurs ou en pays producteurs ; plus il est élevé (au-delà de 25), plus on se rapproche d'une situation de quasi-monopole ou de forte dépendance.

$$IHH = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^2}{100}$$

où :

- N : Nombre total d'acteurs ou d'entités considérées.
- s_i : Part relative de l'acteur i , exprimée en proportion mondiale (entre 1 et 100).

Indice de Vulnérabilité Concurrentielle

Il vise à quantifier la pression qu'exercent d'autres secteurs, hors numérique, sur la même ressource. On observe souvent l'absence de cette dimension dans les grilles de criticité classiques.

$$IVC = \left(\frac{\text{Croissance}_{\text{concurrents}}}{\text{Croissance}_{\text{numérique}}} \right) \times \left(\frac{\text{Part}_{\text{concurrents}}}{\text{Part}_{\text{numérique}}} \right) \times \text{Tension}_{\text{marché}} \times \text{Pondération}_{\text{réserves}}$$

où :

- $\text{Croissance}_{\text{concurrents}}$: Taux de croissance de la demande *hors numérique* pour la ressource.
- $\text{Croissance}_{\text{numérique}}$: Taux de croissance des usages *numériques finaux*.
- $\text{Part}_{\text{concurrents}}$: Part de la consommation totale par les secteurs concurrents (inclut le numérique embarqué).
- $\text{Part}_{\text{numérique}}$: Part de la consommation numérique finale.
- $\text{Tension}_{\text{marché}}$: Sur-demande exprimée par $\max(0, \% \text{Demande} - \% \text{Capacité})$.
- $\text{Pondération}_{\text{réserves}}$: Coefficient reflétant l'abondance des réserves mondiales (entre 1.0 et 1.8).

Indice de Criticité de Substituabilité

Plus encore que la concurrence ou la concentration, la possibilité de remplacer un minerai ou un composant dans un usage spécifique peut transformer un « métal apparemment critique » en « risque maîtrisable », ou inversement.

$$\text{ICS} = 0,4 \times \text{Faisabilité technique} + 0,3 \times \text{Délai d'implémentation} + 0,3 \times \text{Impact économique}$$

où :

- Faisabilité technique : Capacité à remplacer le matériau par un autre techniquement viable (note entre 0 et 1).
- Délai d'implémentation : Temps estimé pour déployer une solution de substitution à l'échelle industrielle.
- Impact économique : Surcoût ou perte économique liée à la substitution.

Indice de Stabilité Géopolitique

Cet indicateur synthétise trois bases reconnues :

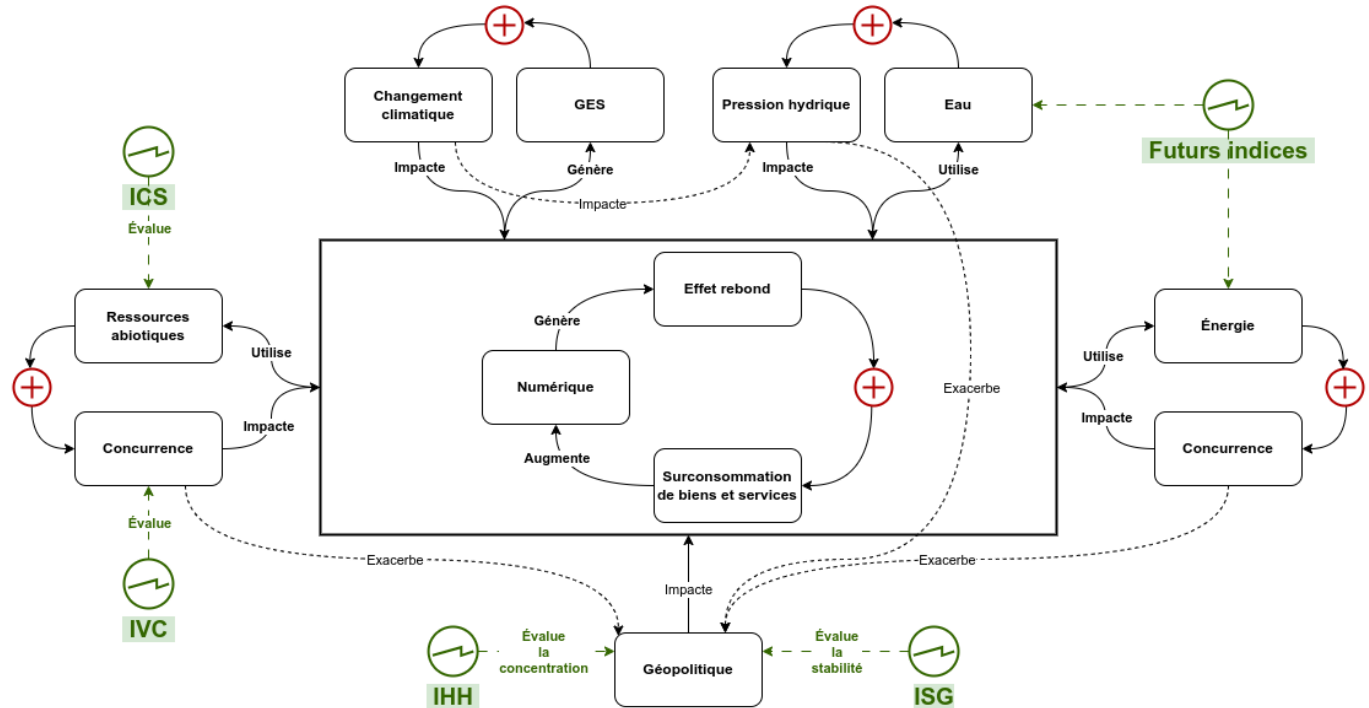
- **WGI** (World Bank, “Political Stability & Absence of Violence”),
- **FSI** (Fragile States Index)
- et **ND-GAIN** (Climat & capacité d'adaptation)

afin de mesurer, pour chaque pays, la probabilité qu'un choc politique, social ou climatique perturbe la chaîne d'approvisionnement.

$$ISG = \left(0,5 \times \frac{2,5 - WGI}{5}\right) + \left(0,3 \times \frac{FSI}{120}\right) + \left(0,2 \times \frac{100 - NDGAIN}{100}\right)$$

Les indices

Impacts et rétroactions positives sur la chaîne de fabrication du numérique



La plateforme en cours de développement

La plateforme est bâtie sur :

- un backend avec un dépôt Git (Gitea)
 - accès aux données : fiches, schéma ...
 - gestion des tickets pour la collaboration
- un frontend en python / streamlit

Accès à la plateforme

Plan d'action pour un modèle complet et robuste ^{1/2}

1 Structurer et harmoniser les données sources

Objectif : disposer d'un socle documentaire commun, clair et régulièrement actualisé, pour alimenter les indices (IHH, IVC, ICS, ISG), ainsi que les dimensions logistiques ou climatiques.

2 Développer la logique modulaire et les sous-graphes

Objectif : rendre le modèle flexible et évolutif, afin d'intégrer progressivement de nouveaux modules (logistique, eau, énergie, outillage critique...).

3 Intégrer la dimension historique et les scénarios

Objectif : passer d'une vision statique à une vision dynamique, permettant de repérer les tendances et de tester des hypothèses de crise.

Plan d'action pour un modèle complet et robuste ^{2/2}

4 Approfondir la notion de polycrise

Objectif : enrichir le modèle pour qu'il prenne en compte les aléas logistiques, climatiques et géopolitiques de manière plus fine.

5 Tester et valider le modèle sur des cas concrets

Objectif : confronter la théorie au terrain et affiner la robustesse du modèle.

6 Mettre en œuvre un workflow de mise à Jour et d'évolution

Objectif : institutionnaliser l'actualisation et le suivi du modèle, pour qu'il reste pertinent à moyen et long terme.