

# Numérique responsable, archéologie numérique et architectures minimalistes

**Mots-clefs :** Durabilité, Sobriété numérique, Eco-responsable, Langages de programmation, Compilation, Informatique minimaliste ou embarquée, Prospective.

**Niveau d'études :** Licence (mais le sujet peut être adapté à d'autres niveaux).

## Contexte

L'informatique évolue depuis des décennies en suivant une croissance exponentielle. En particulier la loi de Moore qui affirme que le nombre de transistors sur une puce double tous les deux ans, s'est assez bien vérifiée en pratique depuis les années 70. Mais cette croissance atteint ses limites : la consommation d'énergie liée au numérique est aujourd'hui importante (2 à 4% des émissions de gaz à effets de serre mondiales) et également en augmentation exponentielle (doublement tous les dix ans environ) et les ressources en termes de minerais rares sont limitées et ne pourront pas supporter longtemps une trajectoire de croissance exponentielle. Les experts du changement climatique (comme ceux du GIEC) proposent au contraire des scénarios où les émissions de gaz à effets de serre décroissent pour atteindre la neutralité carbone autour de 2050.

S'il est tentant de penser que les seuls progrès technologiques suffiront à réduire la demande en énergie et ressources, l'histoire jusqu'ici montre plutôt le contraire : en pratique, les progrès en efficacité énergétique ont toujours été compensés par une augmentation des usages. Par exemple, les téléphones mobiles d'il y a 20 ans étaient conçus sur des technologies bien moins efficaces énergétiquement que celles des smartphones, et pourtant avaient une autonomie sur batterie beaucoup plus longue. On parle pour décrire ce phénomène d'« effet rebond ».

Il est donc important de penser à une réduction des usages pour permettre de réels progrès sur l'impact écologique du numérique : envisager un futur où la quantité de calculs réalisés sur l'ensemble de la planète décroît d'année en année au lieu de croître indéfiniment. Il est très difficile de prédire l'évolution du numérique sur les décennies à venir, mais cette décroissance risque d'être imposée à l'humanité faute de ressources ; on voit déjà en 2022 des pénuries de composants électroniques qui sont entre autres la conséquence d'évènements climatiques extrêmes dans les pays où se trouvent les usines de microélectronique.

Beaucoup de chercheurs pensent que ce changement de paradigme doit être préparé et anticipé, et qu'il est urgent de réfléchir à un numérique souhaitable et durable sur le long terme. C'est la motivation de la création de l'équipe Phénix, au laboratoire CITI de l'INSA-Lyon.

Cette démarche est intéressante, mais fait face à une difficulté majeure : en matière de technologie, et en particulier de numérique, il est très difficile de se projeter 10 ou 20 ans dans le futur. Pour prendre quelques exemples récents : en 1990, qui prévoyait l'avènement d'internet, et son impact sur la société ? Plus près encore, vers 2005, alors qu'on avait déjà l'internet filaire et la téléphonie mobile, qui aurait prédit tous les bouleversements apportés par les smartphones ? Pour imaginer un numérique souhaitable et décroissant, durable sur le long terme, il faut pouvoir surmonter cette difficulté, et pour cela nous proposons de commencer par étudier le passé.

L'histoire de l'informatique est celle d'une croissance ininterrompue depuis les origines. On est donc déjà passé par des époques où la puissance de calcul et même le nombre d'ordinateurs étaient bien plus réduits qu'aujourd'hui. Une vision simpliste d'un scénario de décroissance pourrait être de rejouer cette histoire à l'envers. Bien sûr, nous pensons qu'une telle trajectoire n'est ni réaliste ni souhaitable :

- D'un côté, les usages du numérique ont évolué. L'apparition d'Internet a permis des nouvelles manières de communiquer, et même de créer et partager de la connaissance, par exemple avec Wikipedia.
- D'un autre côté, la connaissance en informatique a évolué. Par exemple, les langages de programmation actuels sont plus faciles à utiliser et plus sûrs que ceux d'autrefois.

Ainsi, nous souhaitons travailler sur des scénarios de décroissance qui préservent les usages bénéfiques du numérique ainsi que les progrès scientifiques.

Pour autant, nous pensons qu'étudier l'histoire de l'informatique est un outil intéressant pour penser des scénarios futurs. Pour une puissance de calcul (rapidité, mémoire) donnée, nous pouvons nous référer à la période correspondante de l'histoire de l'informatique pour se donner une idée de ce qui a été réalisable en pratique. Par exemple, l'Apollo Guidance Computer qui a permis de guider la première mission lunaire n'avait que 4ko de mémoire et tournait à une vitesse de 40 kHz. L'histoire nous apprend donc qu'une aussi petite puissance de calcul est suffisante pour guider une fusée. Sans remonter aussi loin dans l'histoire, les ordinateurs des années 1980 avaient à la fois une puissance très nettement inférieure à celles dont nous avons l'habitude aujourd'hui : quelques méga-hertz et quelques méga-octets de RAM, soit environ 1000 fois moins que la plupart de nos ordinateurs ou smartphones actuels. Pourtant, ces machines permettaient déjà des usages non-triviaux et rendaient de grands services.

Notre but à long terme est d'imaginer, quantitativement, un ou plusieurs scénarios de frugalité numérique. Pour cela, et pour alimenter l'aspect quantitatif de cette prospective sur le long terme, nous proposons d'étudier l'histoire. La démarche adoptée par ce projet est ainsi de se fixer une poignée de «périodes de référence» dans l'histoire du numérique, et pour chacune d'entre elles, de se poser par exemple les questions suivantes :

- Quelle était la puissance de calcul disponible sur les machines de cette époque ? Cette question peut être abordée avec une approche bibliographique, en examinant les spécifications des machines, et/ou par une approche technique, en faisant tourner les logiciels anciens sur des émulateurs et en mesurant leur vitesse et consommation mémoire.
- Quels étaient les usages typiques de ces machines, à l'époque ? Notre rapport au numérique change au fur et à mesure des progrès techniques, et cela n'a de sens de comparer la puissance de différents matériels qu'en mettant en regard les usages permis par ces machines.
- Dans le futur, si l'informatique décroît jusqu'à atteindre une puissance équivalente, que pouvons-nous espérer en termes d'usages, qui n'aurait pas été directement possible à cette époque ? Pour reprendre l'exemple de Wikipedia, né en 2001 : aurait-il été possible d'avoir un projet similaire avec les technologies des années 1970 ? 1980 ? 1990 ?
- Y aurait-il un meilleur moyen de programmer sur ces architectures ? Les technologies modernes ne seraient pour certaines pas envisageables sur des architectures peu puissantes (par exemple l'utilisation de technologies web via des logiciels comme Electron). Inversement, les technologies de l'époque ont généralement

des défauts que nous savons corriger depuis.

## 1 Programme du stage

L'objectif de ce stage est de se concentrer sur la période « années 1990 ». Cette période est intéressante car elle est assez proche de nous pour que nous ayons une bonne connaissance des usages de l'époque, mais assez lointaine pour que les technologies utilisées soient très différentes de celles d'aujourd'hui. En particulier, les ordinateurs de cette époque avaient une puissance de calcul très inférieure à celle des ordinateurs actuels, mais étaient déjà utilisés pour des usages non triviaux.

Pour des raisons pratiques, nous étudierons un écosystème de logiciels libres, basés sur le noyau Linux. L'objectif du stage est d'installer un système Linux minimaliste sur une machine virtuelle, et d'installer dessus un ensemble de logiciels libres représentatifs de l'époque. Nous pourrons ensuite étudier les usages de ces logiciels, et éventuellement les comparer avec des logiciels modernes équivalents.

Techniquement, deux pistes pourront être envisagées : installer/recompiler les logiciels individuellement, ou essayer d'installer une très vieille version d'une distribution GNU/Linux comme Debian.

## Encadrement

- Matthieu Moy, maître de conférences UCBL/LIP, <https://matthieu-moy.fr/>
- Lionel Morel, maître de conférences INSA/CITI, <http://lionel.morel.ouvaton.org/wp/>
- Guillaume Salagnac, maître de conférences INSA/CITI, <http://perso.citi.insa-lyon.fr/gsalagnac/>
- Michael Rao, directeur de recherche CNRS au LIP <https://perso.ens-lyon.fr/michael.rao/>