

Une thèse d'investissement pour l'économie au-delà de la contrainte

Arata Hoshino Émirats arabes unis Septembre 2026

Lectorat

Cette thèse s'adresse aux investisseurs institutionnels, aux fonds souverains, aux investisseurs en capital-risque et en infrastructures, aux fondateurs de la deep tech et aux personnes qui conçoivent les politiques de l'énergie, de l'industrie et de la population. C'est une hypothèse. Elle analyse, imagine et conçoit depuis l'autre versant de la contrainte présente, et non de l'intérieur de celle-ci, et elle est destinée à servir, en tant qu'hypothèse toujours, de boussole pour l'investissement et la stratégie.

Résumé

Cette thèse soutient que la civilisation contemporaine fait face à une seule contrainte structurelle, une capacité de bâtir qui s'est enrayée, et que cette contrainte a trois composantes : (i) l'absence d'abondance énergétique effective, (ii) un déficit d'apport de travail là où l'automatisation a pris du retard, et (iii) l'absence d'institutions qui attirent le capital et les talents. La stagnation économique et l'effondrement démographique sont des symptômes de cette contrainte ; ils ne sont la cause de rien.

L'argument part des révolutions industrielles du passé, passe par un diagnostic du présent et aboutit à la conception de la distribution et de la valeur. Les révolutions industrielles sont relues selon deux axes, l'efficacité avec laquelle on configure la matière et l'efficacité avec laquelle on prédit l'avenir, et l'asymétrie des trente dernières années devient visible sur ces axes. La contrainte d'offre qui en résulte agit à deux niveaux. Au niveau macroéconomique, elle rétrécit l'éventail des grands investissements que l'on songe même à concevoir. Au niveau du ménage, elle élève les prix des biens que l'automatisation n'a jamais atteints et, par là, comprime la population : un second piège malthusien. À partir de ce diagnostic, la thèse propose de remplacer la répartition du revenu fondée sur la contribution aux tâches par une distribution de la propriété bâtie sur des comptes de capital ouverts à la naissance. À la place du PIB, elle s'appuie sur la logique de service dominant, la théorie selon laquelle la valeur est créée à l'usage, du côté du bénéficiaire, et non à l'échange, pour déplacer le centre de la valeur vers la valeur d'usage, et elle énonce les conditions auxquelles la valeur d'usage pourrait être mesurée.

Sur l'autre versant de la contrainte, là où l'énergie est abondante et où l'automatisation s'accélère sous les bonnes institutions, la capacité de concevoir de grandes choses revient. Les gens détiennent du capital avant même d'avoir travaillé et peuvent consacrer leur temps à créer de la valeur au sens plein plutôt qu'à la productivité. Les problèmes macroéconomiques que l'on redoute aujourd'hui, l'effondrement démographique parmi eux, reculent comme sous-produit de la levée de la contrainte d'offre et du nouveau mécanisme de distribution, sans traitement symptôme par symptôme, et l'offre et la demande commencent à se tirer l'une l'autre vers le haut.

Les sections suivantes placent les clusters du monde sur les cinq termes en lesquels se décomposent les trois variables, et prévoient l'avenir de deux technoblocs : un technobloc américain bâti sur la division du travail et un technobloc chinois bâti sur l'intégration verticale. Elles plaident pour un approfondissement de la division du travail entre les États-Unis, les Émirats arabes unis et l'Asie du Nord-Est, et pour un écosystème qui intègre des acteurs des trois. La thèse expose ensuite dans quoi investir, terme par terme, formule onze prédictions en indiquant pour chacune l'observation qui la démontrerait fausse, et se clôt sur l'institution à bâtir.

Note sur la méthode

Cette thèse est née de notes que j'ai tenues en japonais entre 2018 et 2026. Les idées et les arguments sont les miens. J'ai utilisé Claude, d'Anthropic, pour m'aider à transformer ces notes en un texte anglais unique et à tracer les figures à partir de données publiques que j'avais rassemblées. Les erreurs sont également les miennes.

01 La capacité de bâtir

En 1847, la Grande-Bretagne a versé près de 8 % du PIB de cette année-là dans les chemins de fer et a plus que quadruplé son réseau en dix ans, sur le jugement privé et le capital privé, sans aucun plan d'État.¹ Le même pays a désormais passé dix-sept ans et dépensé 46,8 milliards de livres sans ouvrir un seul mile de ligne à grande vitesse.² Ce qui a changé au cours des presque deux siècles écoulés entre les deux, ce n'est ni le caractère national ni la culture, mais la structure de l'abondance.

Ce qu'une civilisation peut bâtir de nouveau dans le monde physique est le produit de trois termes :

Compétitivité civilisationnelle C $\hat{=}$ Institutions I $\times$ Abondance énergétique effective E $\times$ Apport de travail (automatisation) L

Si l'un des trois est proche de zéro, le produit est proche de zéro, si élevés que soient les deux autres. La compétitivité désigne ici la vitesse à laquelle une civilisation peut bâtir le prochain substrat physique et le volume de nouveaux investissements à grande échelle qu'elle peut porter. Elle ne dit rien de la qualité de vie des gens qui y habitent, qui est un autre sujet. Les institutions font deux choses. Elles préservent les rendements, par les droits de propriété, la protection des investisseurs, le traitement fiscal et la rapidité des autorisations, et cela attire le capital. Elles permettent l'échec et admettent les étrangers, et cela attire les gens. L'abondance effective est autre chose que la dotation, c'est-à-dire le fait d'avoir la ressource sous son propre sol. Elle désigne l'accès à une énergie pratiquement gratuite, et la conviction qu'elle restera aussi bon marché pendant une bonne partie de la durée de vie de ce que l'on s'apprête à bâtir. L'apport de travail, dans les économies avancées d'aujourd'hui, désigne l'automatisation, et il se décompose à son tour :

L $\hat{=}$ Deep tech T $\times$ Capital à grande échelle K

La deep tech est la question de savoir si les technologies de point d'étranglement, celles qui arrêtent tous les autres dès qu'on les refuse, sont détenues dans le pays ou à portée de main. Le capital à grande échelle est la question de savoir si des actifs déjà accumulés peuvent être mobilisés à l'échelle qu'exigent les machines autonomes et le substrat de calcul. Aucun des deux n'a besoin d'être bâti dans le pays ; l'un et l'autre s'obtiennent par alliance ou par transfert, mais seulement avec la permission de quelqu'un.

L'équation ne dit rien de la richesse qu'un pays détient déjà. Elle dit ce que le pays peut encore bâtir, et la contrainte porte plus loin que ce qui se construit effectivement. Les options n'arrivent même pas au stade où elles seraient pesées puis rejetées, parce qu'elles cessent d'être proposées. Là où l'on sait qu'une prémisses est fixe, aucun plan d'affaires ne s'écrit sur elle, rien ne parvient à un comité d'investissement et rien n'est conçu du tout. L'éventail des entreprises que nous jugeons aujourd'hui réalistes et notre sens commun de l'échelle des investissements se sont tous deux formés sur l'hypothèse que les trois termes se trouvent là où ils se trouvent actuellement. La contrainte borne donc ce que l'on peut concevoir autant que ce que l'on peut bâtir.

Prenons deux exemples de sociétés qui ont réuni les trois termes en même temps : la Grande-Bretagne des années 1840 et les Émirats arabes unis d'aujourd'hui. Aux Émirats, l'énergie est bon marché pour trois raisons distinctes : un gaz domestique historiquement subventionné, les 5,6 gigawatts de la centrale nucléaire de Barakah, et le parc solaire d'Al Dhafra, qui a établi un record mondial de prix en 2020.³ Le travail est assuré par des migrants, qui forment plus de 80 % de la population résidente, et la terre, désertique, est pratiquement illimitée. Les Émirats du XXI^e siècle versent dans le substrat de calcul ce que la Grande-Bretagne du XIX^e siècle versait dans les chemins de fer. Ces fenêtres peuvent aussi se refermer, comme ce fut le cas pour le Japon. Sa croissance d'après-guerre reposait sur le brut bon marché du Moyen-Orient ; la fenêtre s'est refermée en 1973, par-dessus un ralentissement déjà engagé dans la structure intérieure, et la croissance réelle a été divisée par deux, de 9,1 % par an à 4,2%.⁴

¹ Andrew Odlyzko, "The collapse of the Railway Mania," rev. 2011 : l'investissement ferroviaire est passé de 13 millions de livres en 1845 à un pic de 44 millions en 1847, « près de 8 % du PIB britannique, et le double du budget militaire de cette année-là », en sommes effectivement dépensées, aux prix de l'époque. La longueur des lignes en Grande-Bretagne est passée d'environ 1 498 miles à la fin de 1840 à 6 084 à la fin de 1850 (B. R. Mitchell, *British Historical Statistics*, 1988, Table 5, p.541, qui n'a pu être obtenu ; le chiffre de 1840 repose sur une note de l'édition antérieure de 1962 et peut concerner le Royaume-Uni).

² Les dépenses cumulées atteignaient 46,8 milliards de livres à la fin de mars 2026, en valeur nominale, dont 44,2 milliards pour le programme actuel et 2,6 milliards pour la seconde phase annulée (National Audit Office, *High Speed Two reset*, HC 52, 2026 ; Department for Transport, *HS2 Six-Monthly Report to Parliament*, May 2026). Le même rapport chiffre le coût à l'achèvement entre 87,7 et 102,7 milliards de livres et situe l'ouverture du tronçon d'Old Oak Common à Birmingham entre mai 2036 et octobre 2039. HS2 Ltd a commencé ses activités en janvier 2009.

³ Barakah compte quatre tranches APR1400 totalisant 5,6 gigawatts ; avec les quatre en exploitation commerciale à partir de septembre 2024, la centrale a produit environ 40 térawattheures au cours des douze mois suivants, jusqu'à 25 % de la demande nationale sur une base annuelle (Emirates Nuclear Energy Corporation). Le parc solaire d'Al Dhafra, 2 gigawatts de puissance nominale, a été attribué en avril 2020 à 1,35 cent le kilowattheure, le prix le plus bas annoncé où que ce soit à l'époque, révisé à 1,32 cent au bouclage financier (Abu Dhabi National Energy Company, 22 décembre 2020). Le FMI estimait les subventions énergétiques implicites à 5,7 % du PIB en 2011 (IMF Country Report No. 15/220).

L'abondance de la Grande-Bretagne des années 1840 reposait en partie sur le travail des enfants et sur les colonies, des coûts humains qui ne doivent pas se répéter, et le coût du travail dans les Émirats d'aujourd'hui repose sur un écart mondial de salaires. La combinaison de l'abondance énergétique, d'une fabrication et d'un transport entièrement automatisés et des bonnes institutions rendrait les trois conditions accessibles, pour la première fois dans l'histoire, sans sacrifice humain, et partout. L'abondance que le XIXe siècle a achetée avec de la souffrance humaine, le XXe peut la racheter avec des machines. C'est là le sens civilisationnel d'un engagement de capital dans l'IA physique, c'est-à-dire les robots et les usines automatisées, et dans l'énergie.

02 Deux coûts de convergence

La civilisation avance dans deux directions sur un même substrat, l'énergie, et les deux directions se disputent les mêmes problèmes. Pendant trente ans, le capital a afflué vers la direction qui demandait le moins d'énergie, la direction numérique, et dans les années 2020 cette direction a heurté le mur de l'énergie elle-même. L'engagement de capital dans l'IA physique et dans l'énergie est donc un retour : le capital regagne le côté qu'il avait laissé derrière lui.

Le progrès de la civilisation est fait d'un substrat, l'énergie, et de deux directions qui reposent sur lui. La direction 1 ramène vers zéro le coût d'atteindre la configuration de la matière que l'on visait, une optimisation mesurée en joules ; le transport, la fabrication, la construction, l'agriculture et l'ouverture de l'espace en sont tous des cas particuliers. La direction 2 ramène vers zéro le coût d'atteindre un modèle prédictif de la précision dont on a besoin, une optimisation mesurée en bits ; la communication, le calcul, la science, l'éducation et l'IA en sont tous des cas particuliers. L'une et l'autre abaissent le coût de la transformation d'une intention en résultat, la première en changeant le monde physique, la seconde en sachant quoi faire.

Pour prédire quel moyen, quelle technologie, un problème donné appellera, on traite les deux directions comme concurrentes pour ce problème : le côté dont le coût de convergence, le coût de transformer une intention en résultat, est le plus bas l'emporte. Pour voir de quel côté il s'agit, on décompose le problème en étapes et l'on compte la masse à déplacer à chacune. Dans les achats, la recherche, la comparaison, la commande et le paiement ne déplacent aucune masse ; seul le dernier tronçon, de l'entrepôt au pas de la porte, en déplace. Le problème a donc migré pour l'essentiel vers la direction 2. Amazon a battu sur la structure de coûts le robot d'achats que l'on imaginait autrefois, et non parce qu'une vision l'emportait sur l'autre.

Pendant trente ans, le capital et les talents ont afflué presque exclusivement vers la direction 2. Elle se réplique à coût marginal nul, fonctionne avec peu de friction et demande peu d'énergie, et de ces trois propriétés seule la dernière varie avec l'époque ; dans un monde contraint, le capital va vers la contrainte la plus lâche. Puis, dans les années 2020, la direction 2 a heurté le mur de l'énergie, et l'amélioration de l'efficacité n'a pas tenu le mur à distance. Une baisse du coût de convergence débloque des applications qui n'étaient pas viables auparavant, et la demande croît davantage que le gain d'efficacité. Selon l'estimation de l'AIE, la demande mondiale d'électricité des centres de données a augmenté de 17 % en 2025 par rapport à l'année précédente et aura à peu près doublé d'ici 2030, et les seules installations dédiées à l'IA ont progressé de 50 % en 2025.⁵ Sur la même période, l'électricité consommée par tâche d'IA a chuté rapidement, et l'économie réalisée est passée tout entière dans un surcroît de calcul, utilisé plus largement, plus souvent et pour des usages plus lourds.

Le mouvement du capital parle plus clairement que n'importe quelle prévision. En août 2025, la centrale de Palisades, dans le Michigan, a été ramenée par l'autorité de régulation de la procédure de démantèlement à une licence d'exploitation, la première fois qu'un tel redémarrage était approuvé. « Exploitation » désigne ici une catégorie réglementaire et non

⁴ Sur la base des exercices budgétaires : une moyenne de 9,1 % de l'exercice 1956 à l'exercice 1973 et de 4,2 % de l'exercice 1974 à l'exercice 1990 (Bureau du Cabinet du Japon, comptes nationaux de longue période). La Banque du Japon attribue le ralentissement principalement à des facteurs structurels internes, l'essoufflement de la croissance de la productivité tirée par le rattrapage et le ralentissement des mouvements de main-d'œuvre entre secteurs, le choc pétrolier venant s'y superposer (*Bank of Japan Review* 2012-J-17, December 2012 ; l'*Outlook* d'octobre 2012 traite la même transition dans son encadré 7, qui n'a pu être obtenu).

⁵ IEA, *Key Questions on Energy and AI*, 16 April 2026 : demande d'électricité des centres de données en hausse de 17 % en 2025 et installations dédiées à l'IA en hausse de 50 % ; 485 TWh en 2025, pour atteindre environ 950 TWh en 2030 dans la projection centrale, pour l'ensemble des centres de données. L'AIE indique que l'énergie par tâche d'IA baisse d'au moins un ordre de grandeur par an, mais ne publie aucune série annuelle cohérente à ce sujet. La série américaine mesurée est Shehabi et al., 2024 *United States Data Center Energy Usage Report*, LBNL-2001637 : environ 60 TWh par an de 2014 à 2016, 176 TWh en 2023, et 325 à 580 TWh en 2028 selon les scénarios du rapport.

la reprise de la production.⁶ Cette décision est un signe du changement structurel dont dépend cette thèse : la demande de calcul rend politiquement inévitable l'investissement dans l'offre d'énergie, et le capital est déjà en train de revenir.

03 Une rareté choisie

Le ralentissement de la croissance dans l'ensemble des économies avancées est un piège d'un genre propre, un piège des pays avancés plutôt que le piège du revenu intermédiaire qui immobilise les pays en développement. Des trois termes, celui qui s'est brisé est l'énergie, et il s'est brisé par choix. Dans les années 1970, les pays avancés ont cessé d'étendre leur offre d'énergie, et pendant le demi-siècle qui a suivi ils ont rebâti leurs économies, leurs institutions et leurs valeurs sur la prémisse que l'énergie ne croît pas. La source vers laquelle ils se sont tournés à la place, dont la production ne suit pas la demande, a fait passer son coût aux ménages par la facture d'électricité, et le nombre d'enfants qu'un ménage peut se permettre a été rogné avec lui.

La stagnation se lit à trois endroits. Premièrement, la consommation d'énergie par personne a cessé de croître. Aux États-Unis, elle a augmenté pendant toute la période d'après-guerre, a culminé en 1978 et 1979 et a depuis reculé de près d'un cinquième ; comme les gains d'efficacité ont historiquement accru la consommation totale plutôt que de la réduire, ce recul se lit comme un arrêt de l'expansion et non comme la récompense de l'efficacité.⁷ Deuxièmement, la croissance de la productivité s'est brisée dans les mêmes années. La productivité globale des facteurs américaine a progressé à un rythme régulier de 1920 à 1970 et à environ un tiers de ce rythme depuis, et un modèle qui explique la croissance par le travail utile extrait de l'énergie reproduit la production américaine jusqu'en 1973 et 1974, puis commence à rester en dessous.⁸ Troisièmement, le pays a cessé de bâtir son offre d'énergie : chacun des 41 réacteurs commandés aux États-Unis après 1973 a été annulé.⁹

Aucune loi de la physique ne l'exigeait. Les coûts des réacteurs américains montaient déjà à la fin des années 1960 et sont montés bien plus haut encore pour les réacteurs qui étaient en construction lorsque s'est produit l'accident de Three Mile Island. Au cours des mêmes années, la France a contenu l'escalade de ses coûts à une fraction du rythme américain et la Corée du Sud a fait purement et simplement baisser les siens, l'une et l'autre en construisant encore et encore des modèles standardisés. La même technologie a flambé dans un pays et baissé dans un autre ; la différence tenait à la réglementation et à la politique, et, sous l'une et l'autre, au fait qu'un pays construisait à nouveau la même centrale ou à chaque fois une nouvelle.¹⁰ Le tournant des années 1970, ce sont les peuples des pays avancés eux-mêmes qui l'ont choisi, et rien n'a été préparé pour remplacer la capacité abandonnée. Pendant le demi-siècle qui a suivi, les pays avancés ont rebâti leurs économies, leurs institutions et leurs valeurs sur la prémisse que l'énergie ne croît pas. La rareté décrite ici est cette reconstruction : une rareté choisie, non une rareté donnée.

La principale source nouvelle vers laquelle les pays avancés se sont tournés au cours de ce demi-siècle est une source dont la production ne suit pas la demande. La valeur de marché de l'éolien tombe d'environ 110 % du prix moyen de l'électricité, près d'un taux de pénétration nul, à une fourchette de 50 à 80 % lorsque sa part du système atteint 30 %. Plus il y a d'éolien, plus toutes les autres éoliennes produisent aux mêmes heures, de sorte qu'il abaisse la valeur de l'électricité qu'il produit. Les prix de gros de l'électricité en Allemagne ont été négatifs pendant 573 heures en 2025, un record pour la deuxième année consécutive.¹¹ Une société qui a confié sa charge de base à une source qui ne convient qu'à compléter l'électricité pilotable (puissance garantie) a transmis le coût aux ménages par la facture d'électricité. Choisir un mix de production, c'est choisir une courbe de prix de l'électricité ; choisir une courbe de prix de l'électricité, c'est choisir, d'un seul tenant, les prix du logement, de l'alimentation et des services ; et choisir ces prix, c'est, au bout du compte, choisir le nombre d'enfants qu'un ménage peut avoir. Si l'ensemble de cette chaîne avait figuré sur le bulletin de vote, il se serait agi d'un choix démocratique ; ce qui a manqué, c'est la moindre conscience qu'un choix était en train de se faire.

⁶ L'exemption accordée par la Nuclear Regulatory Commission au titre du 10 CFR 50.82(a)(2), datée du 24 juillet 2025 et entrée en vigueur le 25 août 2025, a permis de retirer la certification d'arrêt définitif et de replacer du combustible dans la cuve (NRC, ML25196A092). Holtec a commencé le chargement du combustible le 30 août 2026, et la NRC affichait encore une production nulle au 18 septembre 2026 ; aucun document primaire attestant la première criticité n'est paru. Le corps du texte ne s'appuie que sur le fait qu'un réacteur a été retiré de la file du démantèlement.

⁷ U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.7, série « Total Primary Energy Consumption per Capita » : 207 millions de Btu par personne en 1949, un pic conjoint de 350 en 1978 et 1979, et un chiffre provisoire de 282 en 2025. La série annuelle commence en 1949, de sorte que rien ici ne remonte plus loin. La montée vers le pic n'a pas été monotone.

⁸ Robert J. Gordon, *The Rise and Fall of American Growth*, Princeton University Press, 2016, figure 1-2 (PGF à 1,89 % par an de 1920 à 1970 et environ 0,65 % de 1970 à 2014). Robert U. Ayres & Benjamin Warr, "Useful Work and Information as Drivers of Growth," INSEAD Working Paper 2002/121, où le modèle reproduit la production américaine jusqu'en 1973 et 1974, puis la sous-estime légèrement ; les auteurs attribuent l'écart au capital en technologies de l'information plutôt qu'à l'énergie. Dans leur livre ultérieur, *The Economic Growth Engine*, 2009, estimé sur 1900 à 2005, la seule rupture significative du résidu se situe à la Seconde Guerre mondiale.

⁹ IAEA, *50 Years of Nuclear Energy*, GC(48)/INF/4, Attachment 3, 2004, para. 15, qui reprend la phrase de Cohn (1997) plutôt que de ses propres registres de réacteurs. Le décompte est confirmé de manière indépendante par l'US Energy Information Administration, *Nuclear Plant Cancellations*, DOE/EIA-0392, 1983, Table 1, p.5 : 41 tranches et 48 495 mégawatts commandés après 1973. Plus des deux tiers de l'ensemble des réacteurs commandés après janvier 1970 ont finalement été annulés.

¹⁰ Jessica R. Lovering, Arthur Yip & Ted Nordhaus, "Historical construction costs of global nuclear power reactors," *Energy*

Cette thèse tient qu'un second piège malthusien est en cours. Dans le monde que décrivait Malthus, la production alimentaire fixait le plafond de la population. Dans le nôtre, le plafond est fixé par la capacité économique du ménage, et cette capacité est gouvernée par l'équation de la section 01. Là où l'abondance énergétique effective et l'apport de travail se sont enrayés, l'automatisation n'a jamais atteint les biens dont un enfant a besoin, le logement, l'éducation, la garde d'enfants et la santé, de sorte que leurs prix ont monté plus vite que tout le reste tandis que les prix des biens automatisés s'effondraient. Les ménages rencontrent la contrainte non sous la forme de la faim, mais sous celle d'un budget qui ne s'étire pas jusqu'à un enfant, et la baisse de la fécondité est le symptôme de cette contrainte.

Dans le débat sur la baisse de la fécondité dans les économies avancées, deux explications sont courantes : un changement des valeurs et un échec des politiques publiques. Les gens en sont venus à privilégier la carrière et le temps libre et à voir dans les enfants un coût ; ou bien la politique familiale est faible, et la garde d'enfants, le logement et l'éducation sont insuffisants. Les deux ont en partie raison, et la question est de savoir si l'une ou l'autre est une cause.

Dans le monde qu'analysait Malthus, la variable contraignante était la nourriture. Là où la terre et la technique agricole ont un plafond, une population croissante signifie moins de grain par tête, et la famine, l'épidémie, la guerre, le mariage plus tardif et la contraception repoussent la population vers ce plafond. C'est le piège malthusien classique. La fixation de l'azote par le procédé Haber-Bosch l'a brisé au début du XXe siècle : l'engrais artificiel a élevé les rendements si loin que dans les pays avancés le manque de calories a cessé, au niveau macroéconomique du moins, d'être contraignant. Le schéma de Malthus n'était pas faux. Ce qui était faux, c'était la prémisse selon laquelle l'agriculture resterait à jamais le goulet d'étranglement. Une population est toujours tenue en bas par la contrainte physique dominante de son époque. La contrainte s'est simplement déplacée, vers les termes de l'équation de la section 01 : l'abondance énergétique effective, l'apport de travail et les institutions.

Personne, dans un pays avancé, ne donne aujourd'hui « il n'y a rien à manger » comme raison de ne pas avoir d'enfants, et la fécondité se trouve pourtant à des creux historiques. La « nourriture » moderne est la capacité économique du ménage : la question de savoir si, avec ses salaires et aux prix auxquels il fait face, une vie avec des enfants est seulement abordable. Cette capacité est elle-même une variable de second ordre, fixée par la structure énergétique et le niveau de la technologie. Le prix d'un bien ou d'un service est fixé, en gros, par le coût de l'énergie, le coût de fabrication, le coût de transport, le coût de calcul et ce qui reste de coût du travail que l'automatisation n'a pas éliminé. Ce dernier porte un nom propre en économie : la maladie des coûts de Baumol. Quand les salaires montent dans un secteur où la productivité croît, les secteurs qui recrutent sur le même marché du travail doivent relever les salaires eux aussi, faute de quoi ils ne peuvent plus recruter : l'éducation, la santé, la garde d'enfants, les soins aux personnes âgées. Leur productivité n'a pas augmenté et leurs salaires l'ont fait, de sorte que leurs prix ne cessent de monter.¹²

Le coût d'élever un enfant se compose presque entièrement de secteurs de Baumol, plus le logement. Depuis 2000, les services hospitaliers américains ont augmenté de plus de 200 %, les frais de scolarité universitaires de plus de 180 % et la garde d'enfants de plus de 100 %, tandis que les prix des téléviseurs, des jouets et des logiciels ont baissé de plusieurs dizaines de pour cent à plus de 90 %.¹³ Les biens que l'automatisation a atteints se sont effondrés en prix ; les services de personne à personne qu'elle n'a pas atteints se sont envolés. Élever un enfant, c'est acheter, vingt ans d'affilée, précisément les biens que l'automatisation a le moins atteints.

Le nombre d'enfants attendu par le ménage est, dans cette lecture, fonction d'un seul ratio :

$$\text{Nombre d'enfants attendu } n^* \doteq g(\text{revenu disponible du ménage } Y_d \div \text{coût attendu par enfant } C_{\text{child}})$$

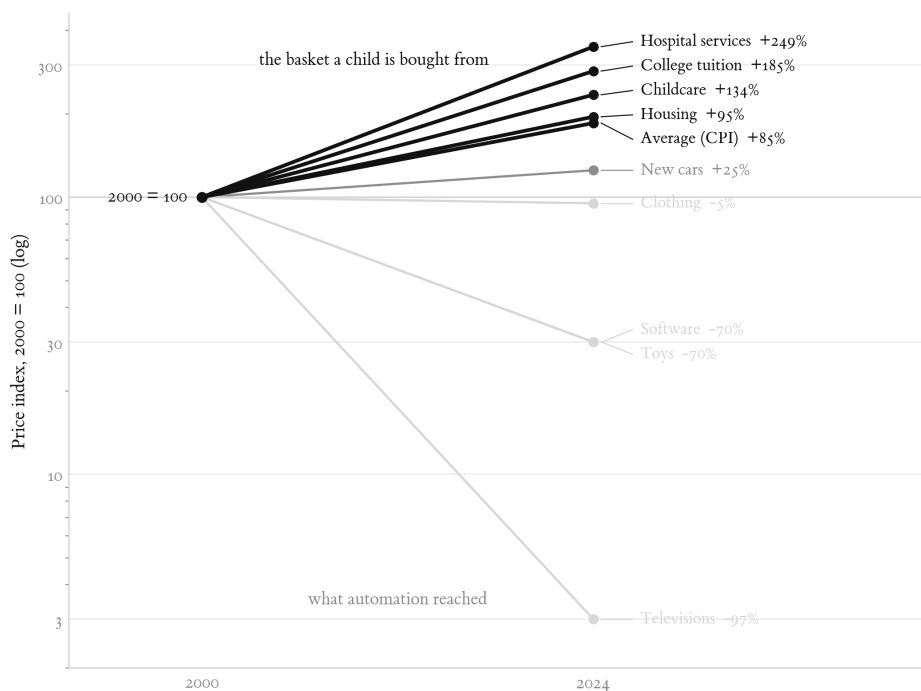
Policy 91, 2016, 371–382. En coût de construction « overnight » aux prix de 2010, les 48 tranches américaines mises en chantier entre 1967 et 1972 sont passées d'environ 600 à 900 dollars par kilowatt à environ 1 800 à 2 500, et les tranches encore en construction au moment de Three Mile Island ont coûté, en médiane, 2,8 fois celles achevées avant l'accident ; les coûts français sont passés d'environ 1 000 euros par kilowatt à 1 500 à 2 000 entre 1971 et 1991 ; les coûts sud-coréens ont baissé d'environ moitié. La comparaison est contestée quant à sa plage de données et à ses définitions des coûts (Kooimey, Hultman & Grubler, *Energy Policy* 102, 2017, et la réponse des auteurs). La base de données de projets de Flyvbjerg lit dans le même dossier un effet du sur-mesure plutôt que de la réglementation, les centrales nucléaires dépassant leur budget de 120 % en moyenne partout (Bent Flyvbjerg & Dan Gardner, *How Big Things Get Done*, Currency, 2023, chapitre 9 et Appendix A) ; le chapitre 3 de la version intégrale pèse les deux lectures.

¹¹ Lion Hirth, "The market value of variable renewables," *Energy Economics* 38, 2013, 218–236. La baisse de 110 % à une fourchette de 50 à 80 % est un résultat de modèle ; les valeurs allemandes observées (1,02 à 2,0 % de pénétration, 0,89 à 8,0 %) sont des résultats ex post du marché day-ahead, un autre type de preuve. Les heures à prix négatif sont les chiffres SMARD de la Bundesnetzagentur : 457 en 2024, 573 en 2025.

¹² William J. Baumol, "Macroeconomics of Unbalanced Growth," *American Economic Review* 57(3), 1967, 415–426. L'application à l'éducation et à la santé américaines est Eric Helland & Alex Tabarrok, *Why Are the Prices So Damn High?*, Mercatus Center, 2019, qui font de ce mécanisme un mécanisme central plutôt qu'unique. Les secteurs que Baumol nomme lui-même sont l'éducation, la police, les hôpitaux, les services sociaux et l'inspection ; la garde d'enfants et les soins aux personnes âgées sont le même mécanisme appliqué plus tard.

¹³ Séries de l'IPC du Bureau of Labor Statistics, extraites par l'auteur via l'API. De janvier 2000 à janvier 2024 : services hospitaliers +248,9 %, frais de scolarité universitaires +184,6 %, garderies et écoles maternelles +134,3 % ; téléviseurs environ –97 %, jouets et logiciels informatiques environ –70 % chacun. Les séries d'électronique comportent un ajustement hédonique, de sorte que les 97 % sont le prix d'un téléviseur de qualité constante, et non le prix payé pour le même objet. Que l'automatisation soit ce qui sépare les deux groupes est la lecture de cette thèse, et non quelque chose qu'établissent les séries d'indices.

Figure 4-1 Ce qui est devenu bon marché, et ce qui ne l'est pas devenu



Échelle logarithmique, de sorte que des pentes égales correspondent à des taux de variation égaux. Les secteurs de Baumol montent ; les biens automatisés s'effondrent. Les étiquettes de droite sont espacées pour la lisibilité ; les extrémités des lignes sont exactes.
Source : Bureau of Labor Statistics des États-Unis, données sur les prix à la consommation, 2000-2024.

Figure 1. Ce qui est devenu bon marché et ce qui ne l'est pas devenu (États-Unis, 2000-2024). L'échelle est logarithmique, de sorte que des pentes égales signifient des taux de variation égaux. Les biens que l'automatisation a atteints bifurquent vers le bas et les secteurs de Baumol bifurquent vers le haut. Tout ce dont un enfant a besoin se trouve dans le faisceau supérieur.

où C_{child} est un composite des prix effectifs du logement, de l'éducation, de la garde d'enfants et de la santé, chacun un secteur de Baumol, et chacun montant plus vite que tout le reste du système de prix. C'est le second piège malthusien, le Malthus du ménage qui donne son titre à cette section : une structure qui comprime la population, dérivée mécaniquement de l'énergie, de la technologie et des prix, et qui ne doit rien à ce que quiconque croit au sujet des enfants.

La baisse de la fécondité est donc un phénomène de prix, non un phénomène culturel. La Corée du Sud a budgété environ 156 000 milliards de wons pour des mesures contre la basse fécondité entre 2006 et 2020, et 43 000 milliards de plus pour la seule année 2021, et l'indice synthétique de fécondité auquel elle est parvenue en 2023 était de 0,72, et de 0,55 à Séoul.¹⁴ Quinze ans de dépenses, sur une ligne budgétaire multipliée par plus de quarante, ont laissé la structure des prix où elle était. Ce qui sépare aujourd'hui les taux de fécondité entre pays avancés n'est pas le revenu mais le coût de la conciliation entre carrière et famille.¹⁵ Les valeurs ne sont pas une cause première. Elles apparaissent deux ou trois marches en aval d'une structure qui se trouve au-dessous d'elles : l'énergie et la technologie fixent le système de prix, le système de prix fixe la contrainte budgétaire du ménage et son inquiétude pour l'avenir, et sous cette contrainte les ménages privilégient la carrière sur les enfants comme principe rationnel d'action, ce qui se justifie plus tard comme une valeur. Détecter un changement dans une variable en aval et l'appeler cause première revient à peu près à appeler le mouvement de l'aiguille du thermomètre la cause de la chaleur.

Le lieu où ce mécanisme fonctionne à la plus grande échelle est la Chine. Les naissances en 2025 sont tombées à 7,92 millions, une baisse de 17 % en une seule année et moins de la moitié du chiffre de 2016. Que le déclin ne s'inversera pas est déjà fixé par le nombre de personnes qui sont nées. La population féminine âgée de 20 à 34 ans, qui compte pour environ 85 % des naissances, passe de 105 millions en 2025 à 58 millions en 2050. Les

¹⁴ National Assembly Budget Office, *Analysis and Evaluation of Programs Responding to Low Fertility*, August 2021 : 155 630 milliards de wons de fonds nationaux budgétés de 2006 à 2020 au titre des trois plans de base, plus 42 900 milliards pour 2021 ; les budgets annuels vont de 1 030 milliards de wons en 2006 à 42 900 milliards en 2021. Il s'agit de montants budgétés, non de dépenses exécutées, et la définition d'une mesure contre la basse fécondité s'élargit au cours de la période, de sorte qu'il ne s'agit pas d'une série unique sur une définition unique. L'indice synthétique de fécondité est celui de Statistics Korea, statistiques des naissances 2023 (0,72 au niveau national, 0,55 à Séoul) ; la remontée à 0,75 en 2024 et à 0,80 à titre provisoire en 2025 n'est pas utilisée ici comme preuve, parce qu'on ne peut pas encore la distinguer d'un simple rebond.

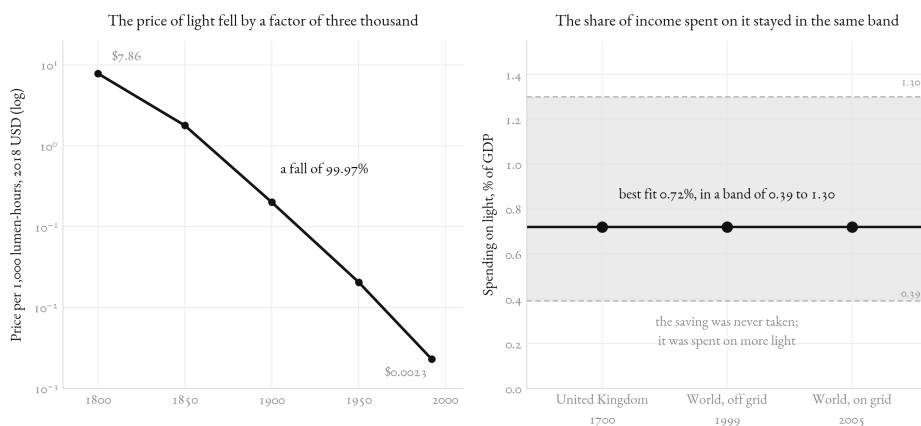
naissances s'étalent d'environ 18 ans à 40 ans, de sorte que chaque femme qui accouchera en 2050 est née au plus tard en 2032. Le seul degré de liberté qui reste est le niveau de la fécondité, et le maintenir à son niveau actuel ramène encore les naissances de 2032 aux alentours de 6,5 millions.¹⁶ De toutes les variables de cette thèse, la population est celle qui se fixe le plus tôt et qui bouge le plus tard.

05 La cascade d'abondance

Partis une semaine avec 2 Go de données en itinérance, nous nous retenons autant que nous le pouvons. Qu'une chose soit finie ou infinie agit sur l'esprit hors de toute proportion avec la rareté réelle. Les modèles d'affaires latents se ramifient comme un arbre, et s'arrêtent en chemin parce qu'une contrainte fait obstacle peut revenir à couper toutes les branches qui auraient fleuri plus loin. En matière d'énergie, notre civilisation est ce voyageur aux 2 Go.

Un effondrement du coût de l'énergie fait donc davantage que rendre la demande existante moins chère à servir ; la demande elle-même se multiplie. La lumière artificielle est l'un des biens dont l'humanité fait baisser le coût depuis le plus longtemps, et selon la mesure de Nordhaus le prix réel de mille lumen-heures a chuté de 99,97 % entre 1800 et 1992.¹⁷ Quand la lumière est devenue trois mille fois moins chère, l'humanité a-t-elle dépensé moins pour elle ? D'après les travaux de Tsao et de ses collègues, l'humanité a, pendant trois siècles, sur six continents et à travers cinq technologies d'éclairage distinctes, continué de consacrer environ 0,72 % du PIB à la lumière. À mesure que l'efficacité montait, les gens consommaient plus de lumière. Ils ont éclairé la ville la nuit, fait tourner les usines jour et nuit, puis gardé des écrans allumés pendant la plus grande partie des heures d'éveil. Une part du revenu qui reste dans la même bande pendant que le prix s'effondre est un effet rebond presque complet : les gens dépensent en davantage de ce bien la totalité de l'économie réalisée grâce à l'efficacité. C'est la lecture adoptée ici.¹⁸

Figure 5-1 Trois siècles de lumière : le cas le plus pur de la cascade



Les trois points de droite sont les situations empiriques que rapporte l'article, à trois siècles d'écart, des chandelles de suif à l'électricité du réseau. La bande grisée correspond à la fourchette de l'article, de 0,39 à 1,30 % du PIB sur dix-sept observations ; la ligne qui la traverse est son meilleur ajustement, 0,72, et non une valeur mesurée trois fois.
Source : à gauche, Nordhaus (1996), dans *The Economics of New Goods*. À droite, Tsao et al. (2010), *J. Phys. D* 43(35), 354001.

Figure 2. Trois siècles de lumière. Le prix a été divisé par trois mille, et la dépense en lumière est restée tout au long dans la même bande de revenu, de 0,39 à 1,30 % du PIB sur dix-sept observations, avec un meilleur ajustement à 0,72. Les trois points sont les situations que rapporte l'article, le Royaume-Uni en 1700, le monde hors réseau en 1999 et le monde raccordé au réseau en 2005, des chandelles de suif à l'électricité du réseau.

La lumière est le cas historique le plus clair, et le mécanisme n'est pas propre à l'éclairage. Une énergie moins chère abaisse le prix de tout ce qui est fabriqué avec elle ; les prix plus bas débloquent des usages qui n'étaient pas viables auparavant ; la nouvelle demande paie

¹⁵ Gary S. Becker, "An Economic Analysis of Fertility," 1960. Matthias Doepke, Anne Hannusch, Fabian Kindermann & Michèle Tertilt, "The Economics of Fertility: A New Era," NBER WP 29948, 2022. Le prix explique les conditions dans lesquelles la fécondité baisse, non celles dans lesquelles elle monte : le déclin nordique depuis les années 2010 sous la politique familiale la plus généreuse du monde (Hellstrand et al., *Demography* 58(4), 2021) et la fécondité de la population laïque d'Israël, proche de 2 dans une société aux prix élevés (Central Bureau of Statistics, *Statistical Abstract of Israel* 2025, Table 2.28 : 2,87 au total, 1,98 chez les non-religieux), marquent la limite de cette explication, et il n'existe aucun enregistrement d'un état dans lequel la contrainte aurait été levée, de sorte que la prédiction du corps du texte est conditionnelle plutôt qu'une loi.

¹⁶ Bureau national des statistiques de Chine, communiqué statistique 2025, 28 février 2026 (7,92 millions de naissances en 2025, 9,54 millions en 2024, quatrième baisse annuelle consécutive de la population). La projection à 2050 est la méthode des composantes par cohorte propre à cette thèse, qui applique une distribution de la fécondité par âge aux cohortes déjà nées, calibrée sur le chiffre réel de 2025. Le Bureau national des statistiques ne publie pas d'indice synthétique de fécondité ; le 0,93 utilisé dans la projection est une estimation privée. La base de population est robuste, puisque chaque femme qui accouchera en 2050 est née au plus tard en 2032. Le nombre absolu de naissances ne l'est pas.

¹⁷ William D. Nordhaus, "Do Real-Output and Real-Wage Measures Capture Reality?" in *The Economics of New Goods*, University of Chicago Press, 1996, ch.1. Le prix réel de mille lumen-heures est passé de 429,628 cents en 1800 à 0,124 en 1992, l'un et l'autre en dollars de 1992 (Table 1.4, p.46). C'est la série de la meilleure technologie disponible, non celle du ménage moyen.

¹⁸ J. Y. Tsao et al., "Solid-state lighting: an energy-economics perspective," *Journal of Physics D* 43(35), 2010, 354001, sur les données de Tsao & Waide, *LEUKOS* 6(4), 2010, 259-281 : trois siècles, six continents, cinq technologies d'éclairage ; de 0,39 à 1,30 % du PIB sur dix-sept observations, meilleur ajustement 0,72. Aucun des deux articles ne chiffre l'effet rebond ; le pas qui va d'une part de dépense stable à un effet rebond presque complet est propre à cette thèse, bien que Fouquet & Pearson (*EEEP* 1(1), 2012) constatent directement un effet rebond supérieur à 100 % (backfire) dans l'éclairage britannique, l'énergie consacrée à la lumière ayant augmenté après les gains d'efficacité du XIXe siècle.

une offre supplémentaire, et l'énergie devient à nouveau moins chère. Cette boucle est la cascade d'abondance qui donne son titre à cette section, et ce qu'elle débloque ensuite se lit sur la structure des coûts. Entre un quart et deux cinquièmes du coût du dessalement par osmose inverse est de l'énergie, et l'énergie représente 40 à 70 % du coût d'exploitation de l'agriculture verticale.¹⁹ Le coût de lancement a été divisé par vingt, d'environ 54 500 dollars le kilogramme sur la navette spatiale à environ 2 720 sur Falcon 9, et l'on parle pour Starship d'un objectif de deux ordres de grandeur encore en dessous, une cible de dix dollars la livre, soit environ 22 dollars le kilogramme, que Jones attribue à Musk.²⁰ Une fois le troisième ordre de grandeur franchi, l'orbite terrestre devient un site industriel.

L'offre arrive selon un calendrier de fabrication, et les prix bougent dans les années 2040. Classées selon la quantité d'électricité pilotable qu'elles peuvent ajouter à long terme, les sources sont la fusion au sommet, puis les grands réacteurs conventionnels et les petits réacteurs modulaires (SMR) construits en série en usine, les énergies fossiles comme relais, et les renouvelables comme complément par-dessus l'électricité pilotable. Ce qui fait baisser le prix, c'est le nombre d'unités construites. La courbe de coût suit la loi de Wright, selon laquelle le coût unitaire baisse à un taux constant à chaque doublement de la production cumulée : les prix des modules solaires ont baissé de 20 à 25 % par doublement, et de plus de 80 % au cours des seules années 2010.²¹ Les SMR visent à convertir le réacteur, d'un projet de génie civil bâti sur site, en un produit fabriqué en série, ce qui placerait le nucléaire sur une courbe d'apprentissage de fabrication plutôt que de construction. Mais entre l'allumage de la première machine à fusion et une division par dix du coût unitaire s'étendent plusieurs décennies et plusieurs centaines de réacteurs, et c'est pourquoi l'effet sur les prix n'arrive que dans les années 2040.

Une mise en garde sur le côté de l'offre. La vitesse à laquelle l'énergie devient effectivement abondante ne se décide pas au générateur mais au raccordement entre le générateur et la charge : la file d'attente des nouveaux raccordements au réseau, les usines qui fabriquent les transformateurs et l'appareillage de coupure, le foncier et les autorisations pour les lignes de transport et les postes électriques. La production a crû de façon exponentielle ;²² le raccordement au réseau, non. Aux États-Unis, le projet médian entré en exploitation en 2025 avait attendu cinq ans depuis sa demande, et 13 % seulement des demandes parviennent un jour à l'exploitation,²³ et un grand transformateur met deux à trois ans à être livré, deux à trois fois ce qu'il fallait en 2010.²⁴ Quel que soit le nombre d'usines ajoutées, chacun de ces délais reste compté en années. Deux choses en découlent pour un investisseur. Les prix de la transition montent avant de baisser, parce que la demande explose pendant que l'offre est retenue. Et l'actif rare n'est pas la centrale de production mais le site déjà raccordé au réseau, et la position dans la file d'attente. L'électricité ne voyage pas loin et le foncier ne voyage pas du tout, de sorte que l'abondance énergétique effective est le seul terme de l'équation qui ne puisse être partagé entre partenaires, et le choix du site est lui-même la décision d'investissement.

La cascade repasse aussi par le ménage, et c'est ici que la section 04 et celle-ci se rejoignent. Les biens qui ont rendu les enfants inabordables étaient ceux que l'automatisation n'avait pas atteints, et la raison pour laquelle elle ne les avait pas atteints était le même déficit d'énergie et d'apport de travail. Il n'y a jamais eu qu'un seul remède à la maladie des coûts de Baumol : élever directement la productivité du secteur malade, par la technologie. Quand l'électricité bon marché et l'IA physique atteignent le logement, l'éducation, la garde d'enfants et la santé, la seule partie du système de prix qui n'a jamais fait que monter commence à baisser, le ratio de la section 04 se retourne et le second piège malthusien se desserre. La population peut alors repartir à la hausse, et avec elle la taille du marché dans son ensemble. Une offre abondante ne fait pas que multiplier la demande pour ce qui existe déjà : elle restaure le nombre de gens qui demanderont quoi que ce soit. Le temps que prend cette restauration est le sujet de la section suivante.

¹⁹ Dessalement : Voutchkov (*Desalination* 431, 2018) situe l'énergie à 25 à 40 % d'un coût d'environ 1,1 dollar par mètre cube, et Ghaffour, Missimer & Amy (*Desalination* 309, 2013) à 19 à 40 % pour l'osmose inverse d'eau de mer. Agriculture verticale : Pennisi et ses collègues (*Agronomy for Sustainable Development* 45, 2025) donnent l'éclairage à 42 à 80 % de la consommation d'énergie et la régulation climatique à 16 à 43 %. La part du coût d'exploitation est le point où les chiffres publiés divergent, d'environ sept dixièmes dans une étude de conception sur papier aux tarifs allemands, capital exclu (Banerjee & Adenaueuer, 2014), à 12 à 25 % dans une enquête auprès de fermes nord-américaines en activité (Agrilyst, 2017) ; l'écart tient surtout au coût du travail et au prix de l'électricité.

²⁰ Harry W. Jones, "The Recent Large Reduction in Space Launch Cost," ICES-2018-81, 2018. Mesuré plutôt par la livraison à l'ISS, l'écart entre les 105 800 dollars par kilogramme de la navette et les quelque 25 000 de Falcon 9 et Dragon est d'un facteur quatre plutôt que vingt.

²¹ T. P. Wright, "Factors Affecting the Cost of Airplanes," *Journal of the Aeronautical Sciences* 3(4), 1936, 122-128. La série solaire est celle d'Our World in Data (CC BY 4.0, d'après Nemet 2009 et l'IRENA) ; sur cette série, le prix des modules baisse de 81,4 % entre 2010 et 2019 et de 85,3 % entre 2010 et 2020, et le texte retient le plus prudent des deux. Qu'une transition rapide soit moins coûteuse est établi par Way, Ives, Mealy & Farmer, *Joule* 6(9), 2022.

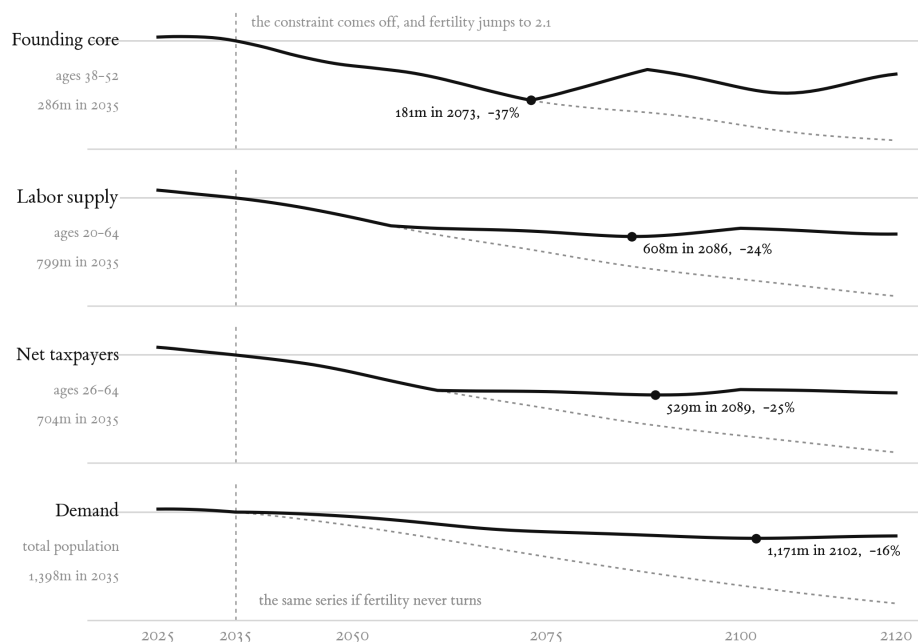
²² La capacité installée cumulée de 0,54 mégawatt en 1975 et de 1 866 898 mégawatts en 2024 est la série d'Our World in Data (base IRENA, installations raccordées au réseau) telle qu'elle se présentait en septembre 2026 ; une version antérieure donnait 1 852 359 mégawatts pour 2024. Pour la Chine, il s'agit du chiffre de l'Administration nationale de l'énergie : 1,84 milliard de kilowatts d'éolien et de solaire à la fin de 2025. La part de 47,3 % est calculée ici par rapport à la capacité installée totale déclarée à la même date, et n'est pas publiée par l'administration.

²³ Lawrence Berkeley National Laboratory, *Queued Up: 2026 Edition* : pour les projets entrés en exploitation en 2025, la durée médiane entre la demande et l'exploitation était de 61 mois ; parmi les demandes déposées entre 2000 et 2020, 13 % en capacité ont atteint l'exploitation et 75 % ont été retirées. Ce sont des statistiques du côté de la production ; la file d'attente du côté de la charge n'est pas couverte.

L'autre versant de la contrainte est une économie plus grande : une offre abondante, une natalité qui se redresse et un marché de la demande qui croît de nouveau. Le problème est l'écart de temps entre l'offre et la demande. Une fois la contrainte levée, l'offre croît sur un calendrier d'années. La demande croît sur un calendrier de générations, et une natalité qui repart à la hausse en 2035 ajoute des consommateurs immédiatement mais n'ajoute des travailleurs, des contribuables et des fondateurs que des décennies plus tard. Cette thèse appelle cet écart la vallée de la demande, et il dure environ un demi-siècle. Pendant sa traversée, les rendements sur lesquels on peut compter sont ceux qui ne varient pas avec les effectifs, le nombre de têtes : des participations dans le capital d'automatisation lui-même, et l'infrastructure de l'énergie et du calcul.

L'écart ne peut être comblé plus vite parce qu'une économie a besoin d'au moins quatre effectifs, l'offre de travail, la demande, les preneurs de risque et les contribuables, et que les machines ne remplacent que le premier. Si personne ne veut d'une chose, on peut en fabriquer autant qu'on veut, ce sera du stock. Le nombre de gens qui mettront leur propre vie dans une entreprise que personne n'a tentée dépend de la taille de la population, non de la productivité. On peut taxer la richesse que produisent les machines, mais c'est une communauté humaine qui porte cette taxation et entretient ses institutions. Et les quatre reviennent à des vitesses différentes. Une personne est consommatrice dès la naissance. Sur les profils par âge des comptes de transferts nationaux (National Transfer Accounts), qui tabulent le revenu et la consommation par âge, son revenu du travail ne dépasse sa consommation qu'aux environs de 30 ans.²⁵ Les fondateurs des entreprises à la croissance la plus rapide ont, en moyenne, autour de quarante-cinq ans.²⁶ Même si la contrainte était entièrement levée en 2035 et que la fécondité des pays à revenu élevé bondissait au seuil de remplacement la même année, ce qui ne peut pas se produire, la vallée durerait encore jusque dans les années 2080.²⁷

Figure 5-5 La vallée de la demande, sous l'hypothèse la plus optimiste disponible



Pays à revenu élevé, chaque ligne étant indexée sur son propre niveau de 2035. L'indice synthétique de fécondité est maintenu à 1,42 puis porté d'un coup à 2,1 en 2035, sans migration ; aucun retournement plus rapide n'est possible, de sorte que la vallée tracée ici est une borne inférieure. La ligne pointillée est la même série sans le retournement. Les quatre planchers ne tombent pas la même année.

Source : projection par composantes de cohortes de l'auteur ; population de base tirée des données de la Banque mondiale par âge et par sexe (2025).

Figure 3. La vallée de la demande, sous l'hypothèse la plus optimiste disponible. Chaque ligne est indexée sur son propre niveau de 2035. Les quatre planchers n'arrivent pas la même année, et la cohorte fondatrice, la tranche d'âge qui crée des entreprises, est celle qui tombe le plus bas.

²⁴ Wood Mackenzie, *Making the connection*, Executive Summary, September 2025, slide 5 : transformateurs élévateurs de groupe à 143 semaines après réception de la commande et transformateurs de puissance à 128, au deuxième trimestre 2025, pour le marché américain. Le point de comparaison est le rapport du Department of Energy *Large Power Transformers and the U.S. Electric Grid* (Avril 2014) : cinq à douze mois auprès des producteurs nationaux et six à seize depuis l'étranger en 2010, de sorte que les chiffres de 2025 représentent un doublement à un triplement.

²⁵ National Transfer Accounts Project, profils par tête selon l'âge ; c'est le profil des États-Unis de 2011 qui est utilisé ici. Sur ce profil, le revenu du travail dépasse la consommation pour la première fois à 30 ans, et le revenu du travail par tête à 20-24 ans représente 30 % de son pic à 49 ans, la moitié du pic étant atteinte à 26 ans et 80 % à 33 ans. C'est une coupe transversale d'une seule année plutôt qu'une cohorte suivie dans le temps.

²⁶ Pierre Azoulay, Benjamin F. Jones, J. Daniel Kim & Javier Miranda, "Age and High-Growth Entrepreneurship," *American Economic Review: Insights* 2(1), 2020, 65-82. Données administratives sur 2,7 millions de fondateurs d'entreprises américaines employeuses : 41,9 ans en moyenne pour l'ensemble des fondateurs, 45,0 pour les entreprises du 0,1 % supérieur en croissance.

²⁷ L'indice synthétique de fécondité est relevé d'un coup de 1,42 à 2,1 en 2035 et maintenu à ce niveau. La population de base est celle des données de la Banque mondiale pour les pays à revenu élevé, 2025, passée dans une projection par composantes de cohorte avec un calendrier de fécondité en loi normale asymétrique (âge moyen 29,0), un calendrier de survie de Gompertz-Makeham maintenu fixe et une migration nulle. C'est un modèle plutôt qu'une prévision : la migration nulle rend la vallée plus profonde qu'elle ne le serait, et ce qui survit est le calendrier, puisque l'année du plancher reste comprise entre 2085 et 2090 lorsque l'espérance de vie est déplacée de quatre ans dans un sens ou dans l'autre.

Trois manœuvres permettent de franchir la vallée. La première est la règle de portefeuille énoncée plus haut : détenir des rendements qui ne dépendent pas des effectifs, et considérer que les entreprises dont les rendements sont proportionnels au volume de la demande font face à un vent contraire structurel pendant toute la période. La deuxième est de bâtir la demande là où sont les gens. Au cours de ces décennies, la population continue de croître principalement en Afrique, au Levant, au Pakistan et dans certaines parties de l'Asie centrale et de l'Amérique centrale, où le pouvoir d'achat par tête est faible. La demande est la population multipliée par le pouvoir d'achat, de sorte que ces régions détiennent une demande future plutôt qu'une demande présente, et pour les économies avancées qui détiennent des capacités de production dont elles ne peuvent écouler les produits, bâtir la capacité d'achat de ces populations relève moins de la charité que du travail par lequel ces capacités repassent du passif à l'actif. La troisième manœuvre est la plus grande et a une section à elle : faire en sorte que, lorsque la demande reviendra, elle revienne à des ménages qui possèdent une part du capital qui produit pour eux.

07 La distribution de la propriété

Les économies modernes distribuent la richesse par les tâches. Le travail est découpé en tâches, et le revenu rémunère leur exécution. Ce mécanisme se défait, parce que l'automatisation s'empare des tâches ; le capital que crée l'automatisation, puis celui que créera l'énergie abondante après elle, devra donc être distribué d'une autre manière. Cette thèse propose une forme élargie de distribution de la propriété : chaque citoyen détient dès la naissance, avant même d'avoir travaillé, une participation dans le capital d'automatisation. En une ligne, chaque citoyen devient investisseur avant de devenir travailleur. Les premiers exemples existent déjà, avec les comptes que les États-Unis ouvrent pour chaque enfant né de 2025 à 2028 et avec les « baby bonds » du Connecticut. La proposition consiste à porter ce dispositif à l'échelle qu'exigeront les décennies à venir, et à dire d'où vient le capital.

Les tâches cessent de remplir leur office d'instrument. La part du travail dans le revenu baisse depuis le début des années 1980 dans la plupart des pays et des secteurs, et environ la moitié de cette baisse s'explique par le recul du prix des machines et des ordinateurs et par le remplacement des personnes par ceux-ci dans les entreprises. L'automatisation a toujours deux effets : le déplacement, quand une machine reprend une tâche humaine, et la réintégration, quand de nouvelles tâches sont créées pour les personnes ; aux États-Unis, ces dernières années, le déplacement s'est accéléré tandis que la réintégration faiblissait.²⁸ La rupture est déjà observable. Dans les métiers que l'IA atteint le plus, l'emploi des jeunes a reculé par rapport aux autres tranches d'âge alors que celui des travailleurs expérimentés se maintenait, par un arrêt des embauches plutôt que par des licenciements, et l'écart s'est creusé à chaque nouvelle livraison des données.²⁹ Le lien entre la tâche et le revenu se rompt à l'entrée, du côté des jeunes.

Les remèdes familiers ne le rétablissent pas. La demande politique de redistribution monte,³⁰ et les instruments vers lesquels elle se tourne en premier ont un bilan. Vers 1990, douze pays de l'OCDE imposaient le patrimoine net ; trois le font encore. La raison n'est pas que des taux élevés émoussent le goût du travail, mais que la base fiscale se déplace : là où la base et ses détenteurs peuvent partir, l'imposition de la fortune pays par pays ne s'est pas maintenue.³¹ Les transferts en espèces aident leur bénéficiaire sans changer la structure. Dans la plus grande expérience menée à ce jour, des personnes qui ont reçu mille dollars par mois pendant trois ans ont travaillé un peu moins, ont été un peu moins souvent en emploi, et ont fait état d'une amélioration du stress et de la sécurité alimentaire qui s'est dissipée après la première année.³² L'argent liquide achète de l'autonomie et une tranquillité d'esprit immédiate. Un chèque ne change pas le propriétaire du capital, et la propriété est la variable qui bouge.

La participation fonctionne à toutes les échelles déjà essayées. Les comptes américains versent 1 000 dollars dans un fonds indicatif pour chaque enfant né entre 2025 et 2028, et les

²⁸ Loukas Karabarbounis & Brent Neiman, "The Global Decline of the Labor Share," *Quarterly Journal of Economics* 129(1), 2014, 61–103. Daron Acemoglu & Pascual Restrepo, "Tasks, Automation, and the Rise in U.S. Wage Inequality," *Econometrica* 90(5), 2022, 1973–2016. La décomposition « environ la moitié » est contestée quant à son mécanisme plutôt qu'à son ampleur : Elsby, Hobijn & Şahin (*BPEA*, Fall 2013) et Bergholt, Furlanetto & Maffei-Faccioli (*AEJ: Macroeconomics* 14(3), 2022) constatent que c'est l'automatisation, plutôt que la baisse du prix des machines, qui joue le rôle principal.

²⁹ Erik Brynjolfsson, Bharat Chandar & Ruyu Chen, "Canaries in the Coal Mine?" Stanford Digital Economy Lab, 2025, revised 2026. Les auteurs notent qu'il s'agit d'une corrélation et non d'une causalité, et le chiffre a bougé avec les données : 13 % en août 2025, 16 en novembre 2025, 19 dans le suivi de juin 2026. Dans les registres danois, Humlum & Vestergaard (2026) bornent la part attribuable à l'IA à 0,14 d'une baisse d'environ 0,6 point de pourcentage, tandis que Hosseini & Lichtinger (2026) constatent un recul de 9 % de l'emploi des juniors dans les entreprises qui ont adopté l'IA.

« baby bonds » du Connecticut versent 3 200 dollars pour chaque enfant né sous Medicaid. L'Alaska verse depuis quatre décennies à chaque résident un dividende tiré du pétrole, sans effet mesurable sur l'emploi, et le fonds souverain de la Norvège est un capital collectif d'environ 380 000 dollars par citoyen.³³ De larges classes moyennes ont été créées à plusieurs reprises en faisant des citoyens des propriétaires : le Homestead Act a fait passer environ un dixième du territoire américain en mains privées, et la réforme agraire du Japon d'après-guerre a transféré 1,74 million d'hectares à 4,75 millions de foyers de fermiers non propriétaires.³⁴ Le XIXe siècle a distribué la terre, le XXe la propriété du logement et les retraites ; le XXIe doit distribuer une participation dans le capital d'automatisation, parce qu'à mesure que la part du travail baisse, les ménages ne peuvent conserver leur part du revenu qu'en possédant du capital.

Qui verse, et à partir de quoi. La réponse doit être cohérente avec le diagnostic : une participation financée principalement par l'imposition d'une base mobile reconstruirait l'échec auquel elle est censée échapper. Trois sources sont cohérentes avec lui. La première est un capital d'amorçage public du type déjà en vigueur, modeste, universel et versé à la naissance, de sorte que les intérêts composés fassent le travail pendant les vingt années qui précèdent le moment où la participation sera nécessaire. La deuxième, et la plus importante, est une part du nouveau capital lui-même. Les intrants rares du déploiement à venir sont ceux que l'État contrôle : le site raccordé, l'autorisation, la terre et l'eau. Un État qui les accorde peut prendre une participation dans les installations d'énergie, de calcul et d'automatisation qu'il rend possibles, comme la Norvège l'a fait avec son pétrole, et placer cette participation dans un fonds des citoyens plutôt qu'au Trésor. La troisième est volontaire : des contributions d'entreprises et de particuliers fortunés, dont l'intérêt n'est pas seulement philanthropique, puisque ces mêmes entreprises détiendront les installations qui auront besoin d'un marché dans la vallée de la section précédente, et que capitaliser la prochaine génération de consommateurs est le moyen le moins coûteux d'en créer un.

La même technologie change aussi le cercle de ceux qui peuvent posséder une entreprise. Posséder une entreprise signifiait autrefois embaucher des personnes et assumer la responsabilité de leur vie, et ce coût fixe déterminait l'échelle minimale à laquelle une entreprise est viable. L'IA et la robotique abaissent cette échelle minimale. Mais si le seuil baisse sans aucun dispositif de dispersion de la propriété, ce qui se multiplie, ce sont des gens qui dirigent une entreprise sans posséder de capital, et la participation reçue à la naissance est le capital initial qui permet à une telle personne de devenir propriétaire.

La raison de se hâter est que les institutions et la population n'avancent pas au même rythme. Les institutions de distribution peuvent être créées par la loi ; une fois la décision prise, elles se mettent en place en quelques années. La population, elle, ne se décrète pas : un enfant qui naît aujourd'hui est consommateur dès le premier jour, met vingt ans à figurer sur les rôles de l'impôt et trente à gagner plus qu'il ne consomme. Institutionnaliser la distribution dans les années 2030, c'est acheter dès maintenant la demande, les nouveaux entrants et les recettes fiscales des années 2050.

08 Déplacer le centre de la valeur

Le dernier élément de la conception est la valeur elle-même. C'est la partie la plus abstraite de cette thèse, aussi est-elle exposée en quatre étapes. Premièrement, la plus grande partie de la valeur que les gens créent n'entre jamais dans le PIB. Deuxièmement, ce n'est pas un hasard : le PIB compte des prix, et le prix a été adopté il y a deux siècles et demi comme substitut d'une valeur qui ne pouvait alors pas être observée. Troisièmement, les deux fonctions du prix, rationner ce qui est rare et tenir lieu de valeur, sont toutes deux en train d'être reprises, l'une par l'énergie bon marché et l'autre par la mesure bon marché. Quatrièmement, à mesure que cela se produit, ce qu'un investisseur achète change : d'une part de l'entreprise qui fabrique une chose, on passe à une créance sur le bénéfice que cette chose procure à ceux qui l'utilisent.

³⁰ Le 4 novembre 2025, Zohran Mamdani a remporté la mairie de New York et Katie Wilson celle de Seattle. Le sondage est Jeffrey M. Jones, "Image of Capitalism Slips to 54% in U.S.," Gallup, 8 September 2025 (54 % d'opinions favorables au capitalisme parmi l'ensemble des adultes, 39 % au socialisme).

³¹ OECD, *The Role and Design of Net Wealth Taxes in the OECD*, 2018. Sarah Perret, *Fiscal Studies* 42(3-4), 2021, 539-563. Ce bilan ne prouve pas que taxer la fortune soit une erreur, seulement que cela a été difficile à maintenir sous la mobilité. Dans les données scandinaves, une hausse d'un point du taux supérieur de l'impôt sur la fortune réduit le stock de contribuables fortunés d'environ 2 % (Jakobsen, Kleven, Kolsrud, Landais & Muñoz, NBER WP 32153, 2026), tandis qu'en Suisse une baisse d'un point accroît la fortune déclarée d'au moins 43 %, dont un quart seulement par des déménagements (Brühlhart, Gruber, Krapf & Schmidheiny, *AJ: Economic Policy* 14(4), 2022). La base se déplace par les exonérations, les évaluations et la fraude avant de déménager.

³² Eva Vivalt, Elizabeth Rhodes, Alexander W. Bartik, David E. Brookman, Patrick Krause & Sarah Miller, "The Employment Effects of a Guaranteed Income," NBER Working Paper 32719, 2024, revised 2026 : les heures travaillées ont baissé de 1,3 par semaine et l'emploi de 4,2 points (erreur type 1,7) par rapport à un groupe témoin de 2 000 personnes recevant 50 dollars par mois. Sur la santé, Miller et ses collègues, NBER Working Paper 32711, 2025. L'un et l'autre concernent des transferts de durée limitée, qui n'ont pas pour leur bénéficiaire le même sens qu'un revenu du capital attendu pour toute une vie.

³³ One Big Beautiful Bill Act (Public Law 119-21) §70204 : 1 000 dollars pour chaque enfant citoyen des États-Unis né entre le 1er janvier 2025 et le 31 décembre 2028, investis dans des fonds qui suivent un indice large d'actions américaines ; les comptes sont entrés en service le 4 juillet 2026. Les « baby bonds » du Connecticut : 3 200 dollars pour chaque enfant né sous Medicaid le 1er juillet 2023 ou après, utilisables entre 18 et 30 ans pour un logement dans l'État, une entreprise, des études supérieures ou l'épargne-retraite. Alaska : dividende versé chaque année depuis 1982 ; Damon Jones & Ioana Marinescu, *AJ: Economic Policy* 14(2), 2022, 315-340. Norvège : NBIM, *Annual report* 2025.

³⁴ Sur le Homestead Act, les Archives nationales des États-Unis et le National Park Service (plus de 1,6 million de demandes traitées jusqu'en 1934, faisant passer plus de 270 millions d'acres en mains privées). La réforme agraire

Première étape : ce qu'est la valeur, et quelle part en manque au PIB. Créer de la valeur, c'est appliquer sa propre compétence au bénéfice d'autrui.³⁵ Selon cette définition, servir un café dans un bistrot et, pour une mère, prendre soin de son enfant sont le même acte, et la seule différence est que l'un portait un prix. Ce que le PIB manque peut se mesurer, et trois mesures différentes concordent. La production domestique non rémunérée vaut environ un quart du PIB dans les comptes satellites officiels. Le travail rémunéré et les études occupent moins de cinq heures de la journée moyenne, tandis que le travail non rémunéré et les loisirs en occupent plus de huit.³⁶ Et l'internaute médian demanderait environ cinquante dollars par mois pour renoncer à une plateforme gratuite, un bien dont la contribution au PIB est presque nulle.³⁷ La valeur que comptent les transactions marchandes est une minorité de la valeur créée en une journée.

Deuxième étape : pourquoi le PIB est construit ainsi. C'est Adam Smith qui a tracé la ligne entre les deux. Au livre I, chapitre IV de *La Richesse des nations*, il distingue la valeur d'usage, ce qu'une chose vaut pour celui qui s'en sert, de la valeur d'échange, ce qu'elle rapporte dans le commerce. Il observe que rien n'est plus utile que l'eau et que l'on ne peut presque rien acheter avec elle, puis il confine tout ce qui suit à la valeur d'échange, parce que celle-ci pouvait être mesurée et la valeur d'usage non. Il appelait la valeur d'usage la valeur réelle. Le paradoxe n'a jamais été résolu ; il a été mis de côté, et l'économie a ensuite oublié qu'il l'avait été.³⁸ Le PIB est cette décision devenue institution : il compte ce qui a été payé, et non ce qui a été utile.

Troisième étape : pourquoi le substitut faiblit. Le prix fait deux choses : il rationne ce qui est rare, et il tient lieu de valeur. L'énergie bon marché reprend la première. Dans les biens d'information, où une copie de plus ne coûte presque rien, le prix a déjà cessé de signaler la rareté, et l'effondrement du coût de l'énergie et de l'automatisation étend la même mécanique au monde matériel. La mesure reprend la seconde, plus lentement. Le prix tenait lieu de valeur parce qu'au temps de Smith il n'existait aucun moyen d'observer si un bénéfice avait été ressenti. Ce n'est plus vrai. Les données comportementales et biométriques sont déjà enregistrées et, en principe, la réponse du système nerveux lui-même peut l'être. Si le fait qu'un bénéficiaire a ressenti un bénéfice devient enregistrable, la raison de conserver un substitut disparaît. Des deux fonctions, la seconde est la plus difficile à déloger, parce qu'elle exige non seulement la mesure, mais aussi la confiance que la mesure n'a pas été truquée.

Quatrième étape : ce qui change pour la monnaie, et pour les investisseurs. La monnaie perd sa première fonction, le rationnement, avant de perdre la seconde, la mesure de la valeur, et les unités qui reprennent le rationnement sont des unités d'énergie. Le jeton qui compte l'inférence de l'IA et le quota d'émission de carbone ont tous deux été conçus comme des unités de compte, et tous deux convergent vers la monnaie ; tout ce qui est émis, échangé et stocké comme unité d'une ressource rare accomplit une partie du travail de la monnaie. Pour un investisseur, le changement est le suivant. Aujourd'hui, on finance une entreprise et l'on est payé sur ses bénéfices, c'est-à-dire sur la valeur d'échange qu'elle capte. Une fois que le bénéfice qu'une chose procure pourra être mesuré, on pourra financer la chose elle-même et être payé selon le bénéfice mesuré qu'elle procure à ses utilisateurs, quel qu'en soit le fabricant. La créance s'attache à l'usage de ce qui a été fabriqué, et non à l'organisation qui l'a fabriqué. La section 10 énumère l'infrastructure qui rendrait une telle créance exécutoire. Sans elle, ni cette section ni la distribution de la précédente n'ont d'unité dans laquelle régler les comptes.

japonaise est le rapport du ministère de l'Agriculture à l'ICARRD (1,74 million d'hectares, 4,75 millions de foyers de fermiers non propriétaires) ; la baisse de la part des terres en faire-valoir indirect, de 45,9 % à 9,9, est Chiang, Fan & Hsu, IZA DP No. 18095, 2025.

³⁵ Stephen L. Vargo & Robert F. Lusch, "Evolving to a New Dominant Logic for Marketing," *Journal of Marketing* 68(1), 2004, 1–17 ; l'axiomatisation est "Institutions and axioms," *JAMS* 44(1), 2016, 5–23 ; le livre est *Service-Dominant Logic*, Cambridge University Press, 2014.

³⁶ Benjamin Bridgman, Andrew Craig & Danit Kanal, "Accounting for Household Production in the National Accounts," *Survey of Current Business* 102(2), 2022 (22 à 25 % du PIB). L'emploi du temps provient de l'OECD Time Use Database et de Veerle Miranda, OECD Working Papers No. 116, 2011, en moyenne sur 29 pays et sur les 15 à 64 ans : 4,6 heures par jour de travail rémunéré et d'études, 3,4 à 3,5 de travail non rémunéré, environ 4,8 de loisirs, sur l'ensemble des jours, week-ends compris, et sur les personnes en emploi comme hors emploi, ce qui explique que le travail rémunéré paraisse court.

³⁷ Erik Brynjolfsson, Avinash Collis & Felix Eggers, "Using massive online choice experiments to measure changes in well-being," *PNAS* 116(15), 2019, 7250–7255. La compensation mensuelle médiane exigée pour renoncer à une plateforme gratuite était d'environ 48 dollars.

³⁸ Adam Smith, *The Wealth of Nations*, 1776, Book I, Ch. IV ; la définition de la valeur réelle se trouve aux pp.30–31. Aristote a séparé la valeur d'usage de la valeur d'échange au IV^e siècle avant notre ère, et les scolastiques médiévaux tenaient que la valeur d'usage venait en premier. La lecture suit Lusch & Vargo, 2014, ch.2.

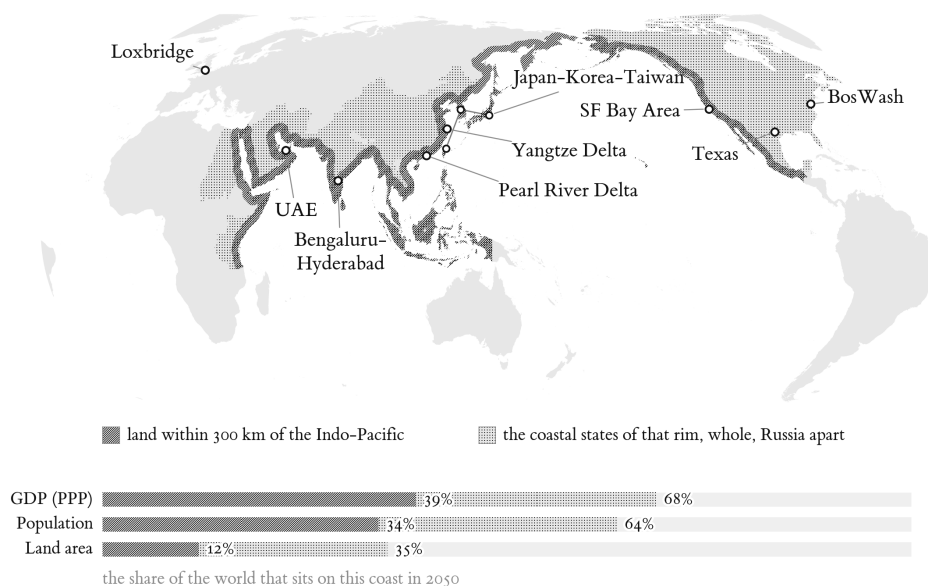
09 Le centre de gravité a pris la mer

Trois conclusions, puis le raisonnement. L'unité de l'économie mondiale est le cluster, et non la nation. Les clusters se concentrent le long de la bordure de l'Indo-Pacifique, parce que les biens lourds du déploiement physique voyagent par mer ; cette thèse travaille donc avec neuf clusters, six situés sur cette bordure ou près d'elle et trois, le Texas, le BosWash et le Loxbridge, qui lui sont liés par le capital et le commerce : la baie de San Francisco, le Texas,

le BosWash (le corridor Boston-Washington), les Émirats arabes unis, l'Asie du Nord-Est (Japon, Corée du Sud, Taïwan), le Loxbridge (le triangle Londres-Oxford-Cambridge), le delta du Yangzi, le delta de la rivière des Perles et Bengaluru-Hyderabad. Et lorsque les neuf sont mesurés à l'aune des cinq termes de l'équation, aucun lieu ne porte tous les termes, de sorte que le rang d'un cluster se décide par la manière dont il atteint les termes qui lui manquent : une division du travail entre des clusters qui cocréent l'exporte sur l'intégration verticale à l'intérieur d'un seul pays.

L'unité et la mer d'abord. Divisez les terres du monde selon la continuité de leurs lumières nocturnes et les concentrations de l'économie apparaissent d'elles-mêmes. Les 40 mégarégions extraites de cette façon abritent moins d'un cinquième de la population mondiale et génèrent les deux tiers de la production mondiale et la plupart des brevets.³⁹ L'agglomération ne s'est pas défaite quand le coût de la communication a approché de zéro, parce que ce que la densité achète, en bassins de main-d'œuvre et en apprentissage auprès des gens d'à côté, ne passe pas par un câble. Et les clusters sont là où est la mer. Plus de 80 % du commerce mondial de marchandises en volume passe par la mer,⁴⁰ et le substrat physique traité ici, transformateurs, turbines, réacteurs et matériaux de construction, se situe tout entier du côté lourd, de sorte que la distance à un port est une distance au chantier. Les villes qui bordent le plus grand océan de la Terre sont devenues grandes par la géographie plutôt que par l'effort. Les terres situées à moins de 300 kilomètres de l'Indo-Pacifique représentent 12 % des terres du monde et, en 2050, elles porteront un tiers de la population mondiale et près des deux cinquièmes de sa production.⁴¹ Les États riverains de cet océan, pris ensemble, produisent déjà les deux tiers du PIB mondial, contre environ la moitié en 1980.⁴²

Figure 8-1 La côte de l'Indo-Pacifique, où se trouvent la plupart des neuf clusters



Deux lectures de la même bordure. Les hachures noires en diagonale sont les terres situées à moins de 300 km de l'Indo-Pacifique, c'est-à-dire des océans Pacifique et Indien avec le Golfe et la mer Rouge, du détroit de Béring jusqu'à la frontière sud du Mexique d'un côté et jusqu'à celle de la Tanzanie de l'autre. Les îles suivent l'État qui les détient ; l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Papouasie-Nouvelle-Guinée et Madagascar sont exclues. Le maillage représente les États côtiers de cette bordure pris dans leur ensemble, la Russie mise à part, car l'essentiel de son territoire se trouve à l'intérieur des terres. Les trois clusters situés hors de la bande sont eux aussi côtiers, tournés vers l'Atlantique. Chaque barre montre le total des États côtiers et, à l'intérieur, la part de la bande. Projection Equal Earth : les surfaces sur la page sont proportionnelles aux surfaces sur le globe, et l'Antarctique, hors du cadre, est compris dans le chiffre des terres. Littoral SRTM15+ v2.7 (GMT earth_relief 02m), frontières Natural Earth 10m, population et production selon le scénario SSP2 de Murakami et Yamagata (2019), réparties à l'intérieur de chaque pays sur les grilles 1990-2015 de Kummu, Taka et Guillaume (2018).

Figure 4. La côte de l'Indo-Pacifique. Les hachures noires en diagonale sont les terres situées à moins de 300 kilomètres de l'Indo-Pacifique ; le maillage représente les États côtiers de cette bordure pris dans leur ensemble, Russie exceptée. Les barres sont une projection pour 2050 : pour la population et pour la production, chacune montre la part des États côtiers dans le monde cette année-là et, à l'intérieur, la part de la bande côtière. La projection cartographique est équivalente, de sorte que la surface sur la page est proportionnelle à la surface sur la Terre.

³⁹ Richard Florida, Tim Gulden & Charlotta Mellander, "The rise of the mega-region," *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 1(3), 2008, 459-476 : 40 mégarégions rassemblant 17,7 % de la population mondiale, 66 % de la production et 85,6 % des brevets. La production est estimée à partir de l'intensité des lumières nocturnes et renormalisée sur le PIB national, une réallocation spatiale du PIB mondial plutôt qu'une mesure indépendante. Les données datent des environs de 2000.

⁴⁰ UNCTAD, *Review of Maritime Transport 2017*, p. x : plus de 80 % du commerce mondial de marchandises en volume et plus de 70 % en valeur transitent par la mer. Les éditions 2024 et 2025 n'énoncent pas ce ratio, d'où le recours à l'édition 2017.

⁴¹ Agrégation propre à cette thèse sur un maillage de deux minutes d'arc. Les îles sont comptées avec l'État qui les détient ; l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Papouasie-Nouvelle-Guinée et Madagascar sont exclues. Le trait de côte est SRTM15+ v2.7, les frontières sont Natural Earth 10m, la ventilation à l'intérieur des pays est Kummu, Taka & Guillaume, *Scientific Data* 5, 180004, 2018, et la projection est Murakami & Yamagata, *Sustainability* 11(7), 2106, 2019 (SSP2). En maintenant les ratios à leurs valeurs de 2015, on obtient 34 et 38 %.

⁴² Agrégation propre à cette thèse à partir de la base de données du *World Economic Outlook* du FMI, octobre 2025 : les États riverains de l'Indo-Pacifique comptent 69 % de la population mondiale et produisent 66 % du PIB mondial en parité de pouvoir d'achat, contre 53 % en 1980. Aux taux de change du marché, le chiffre est de 65,5 %. La valeur de 1980 repose sur les 49 des 67 pays et territoires pour lesquels des données existent. Le plus grand terme individuel est celui des États-Unis ; l'exclure ramène le chiffre à 51,7 %.

L'analyse : seuls deux technoblocs réunissent les cinq termes, l'un par la division du travail et l'autre par l'intégration verticale, et le second a pour goulet d'étranglement ses institutions. Vue au niveau du cluster, l'équation se scinde en cinq termes : les institutions, l'abondance énergétique effective, la deep tech en bits (logiciel et IA), la deep tech dans le physique (machines, matériaux et semi-conducteurs) et le capital à grande échelle. Le rang d'un cluster se fixe selon qu'il peut atteindre les termes qui lui manquent, et non selon le nombre de ceux qu'il détient. Cette thèse appelle technobloc un ensemble de clusters qui atteignent les termes les uns des autres, et à l'heure actuelle deux seulement ont réuni les cinq. Le technobloc américain les réunit par la division du travail. La baie de San Francisco se spécialise dans les bits, Japon-Corée du Sud-Taïwan dans le physique, et le Texas, le BosWash et les Émirats dans les institutions, l'énergie et le capital ; superposés les uns aux autres, ils couvrent presque entièrement les cinq termes. Le technobloc chinois tente de les réunir par l'intégration verticale à l'intérieur d'un seul pays. Son avantage est la vitesse de décision et la résilience face à une rupture d'approvisionnement. Sa faiblesse est que tout terme structurellement bas devient le goulet d'étranglement de l'ensemble, et dans le cas chinois ce terme est celui des institutions. L'investissement direct venu de l'étranger s'est retourné à la baisse sur fond de préoccupations de sécurité économique,⁴³ et pour ceux qui viennent de l'extérieur, le pays est difficile à pénétrer et difficile à habiter durablement : le droit de séjour d'un professionnel étranger est lié à son employeur, et la langue, la culture et le système juridique dressent chacun une barrière propre. La richesse produite n'atteint les ménages que faiblement, de sorte que l'offre de travail excède la demande, que le chômage des jeunes reste élevé, que les naissances baissent et que la demande se contracte. L'Inde, troisième candidate, n'appartient jusqu'ici à aucun des deux.

La division du travail l'emporte parce qu'elle est devenue plus difficile à rompre qu'elle ne l'était. La division du travail des années 1990 était un arbitrage sur les écarts de salaires, si bien que lorsque les salaires bougeaient, l'arrangement bougeait avec eux. Ce qui la fixe aujourd'hui, c'est l'ensoleillement, la terre et une lignée manufacturière accumulée sur quarante ans, et rien de cela ne se déplace aussi aisément que le capital ou le travail. Dans la mesure où l'avantage comparatif est fixé dans la géographie et dans le temps, l'écart entre le côté qui se répartit les termes et le côté qui les détient tous à l'intérieur d'un seul pays se creuse avec le temps. Les États-Unis, les Émirats et Japon-Corée du Sud-Taïwan devraient donc être liés plus étroitement qu'ils ne le sont. Les bits sont en Amérique, le côté physique est au Japon, en Corée du Sud et à Taïwan, et l'énergie, le capital à grande échelle et la vitesse de décision sont aux Émirats. Les trois se complètent déjà, mais ce qui les relie s'arrête au niveau des transactions individuelles. Placez les trois sous une même conception et les cinq termes tiennent ensemble pour la première fois. Ce faisant, on fait aussi du cluster, plutôt que du pays, l'unité d'intégration.

Une chose pourrait relâcher l'emprise de la mer sur cette carte : le calcul en orbite autour de la Terre. Il l'emporte sur le sol pour deux raisons : la lumière du soleil y arrive sans obstacle, et il n'y a pas de file d'attente pour le raccordement au réseau. Aucune loi de la physique ne s'y oppose, et la contrainte d'ingénierie déterminante est l'évacuation de la chaleur. Extrapolez les radiateurs solides d'aujourd'hui, et refroidir un gigawatt de calcul demande environ cent mille tonnes ; un radiateur à gouttelettes liquides évacuerait, selon ce qui en est rapporté, le même gigawatt avec environ 2 200 tonnes.⁴⁴ L'écart entre cent mille tonnes et 2 200 est ce qui sépare un projet impossible d'un projet possible ; le coût ne vient qu'ensuite. Et à l'heure actuelle, l'accès à l'orbite au coût le plus bas se trouve à l'intérieur du technobloc américain, de sorte que ce déplacement renforcerait ce bloc plutôt que de le menacer.

10 Dans quoi investir

Les investissements se projettent sur les termes de l'équation. Comme l'équation est un produit, le capital agit le plus là où le terme est le plus bas. Il y a aussi un second critère : les

⁴³ L'investissement direct entrant, sur la base des montants effectivement réalisés, a baissé de 27,1 % en 2024 par rapport à l'année précédente, à 826,2 milliards de yuans selon la compilation du ministère du Commerce, tandis que les engagements d'investissement direct en base balance des paiements sont restés en entrée nette en 2023 comme en 2024, l'entrée de 2023 étant la plus faible depuis 1993. La cause ne peut être attribuée à la seule sécurité économique ; les contributions du marché immobilier et des écarts de taux d'intérêt ne sont pas isolées.

⁴⁴ Recalculé par l'auteur à partir de la loi de Stefan-Boltzmann plutôt que repris de documents industriels. La Station spatiale internationale évacue 70 kilowatts sur une surface proche de 422 mètres carrés ; la NASA donne les 70 kilowatts comme capacité de conception et n'indique jamais la surface radiative, et les 422 proviennent de l'analyse industrielle citée ci-après. Les 450 watts par kilogramme pour un radiateur à gouttelettes liquides proviennent de cette même analyse, SpaceComputer, "Cooling for Orbital Compute: A Landscape Analysis." Ce chiffre se situe à l'extrémité pessimiste des propres études de conception de la NASA sur ce concept, qui placent la performance massique entre 431 et 2 141 watts par kilogramme (Karl K. Knapp, *Lightweight Moving Radiators for Heat Rejection in Space*, NASA-CR-161943, 1981, Tables I et III).

seuls rendements sur lesquels on puisse compter sont ceux qui ne dépendent pas des effectifs.

Élever l'abondance énergétique effective

- ⊙ La fusion et les petits réacteurs modulaires (SMR). La compétition se joue sur le nombre d'exemplaires d'une même conception qui seront construits ; ce qui mérite d'être acheté est donc moins le réacteur de démonstration que la ligne de production et la chaîne d'approvisionnement qui répéteront une même conception après lui. L'effet sur le prix de l'énergie arrive dans les années 2040, et seul le capital capable d'attendre aussi longtemps a sa place ici.
- ⊙ L'infrastructure de réseau et les gros équipements électriques. Quelle que soit la production ajoutée, rien ne bouge si une nouvelle charge ne peut pas être raccordée. Trois choses sont achetables : la capacité de fabrication de transformateurs et d'appareillage de coupure, la capacité de construction de lignes de transport et de postes électriques, et des terrains déjà raccordés au réseau.

Élever l'apport de travail

- ⊙ L'IA physique. Les humanoïdes et les usines automatisées. Le coût unitaire commence déjà à suivre la loi de Wright tandis que la démonstration de la fiabilité prend du retard, et les deux avancent séparément. Rien de tout cela ne se planifie au rythme du logiciel. Usines, pièces, réglementation, accidents et réparations avancent tous au temps du monde physique.
- ⊙ La chaîne d'approvisionnement physique de pointe. Matériaux, équipements de production de semi-conducteurs, lithographie, logique de pointe, mémoire rapide, robots industriels, moteurs de précision. Quand la production en volume commence, ce qui vient à manquer en premier n'est pas la machine finie mais la capacité de fabriquer cette couche. La région où ces couches sont le plus rapprochées est Japon-Corée du Sud-Taïwan, et Japon-Corée du Sud-Taïwan manque structurellement d'énergie ; un investissement dans cette couche vaut donc moins s'il ne s'inscrit pas dans la même conception que la fusion et le réseau, parce que l'électricité devient sa contrainte.
- ⊙ La conception de la mise en œuvre pour les secteurs de Baumol et le logement. Le logement, l'éducation, la garde d'enfants et la santé. L'IA physique n'agit sur la population que lorsqu'elle atteint ces quatre-là. Construire les machines, et concevoir où les appliquer dans un hôpital, une école, une crèche ou la production de logements, sont deux investissements différents, et c'est le second qui attire le moins de capital.

Bâtir les institutions

- ⊙ Les institutions de distribution. Les comptes de capital à la naissance, les fonds souverains à participation citoyenne et les participations universelles dans le capital d'automatisation. C'est un terme d'ingénierie plutôt qu'un terme d'éthique : il décide si un cluster fonctionne encore dans vingt ans.
- ⊙ La vitesse du raccordement et des autorisations. La qualité des institutions se lit dans la durée des procédures. La Grande-Bretagne des années 1840 tenait deux choses à la fois : la constitution de sociétés par simple enregistrement, et une loi qui normalisait la procédure d'expropriation. La file d'attente de raccordement, l'évaluation environnementale et les permis de construire occupent cette position aujourd'hui. La procédure peut être raccourcie à l'échelle de quelques mois. Le délai de livraison d'un transformateur ne se raccourcit qu'à l'échelle des années.
- ⊙ L'infrastructure de mesure de la valeur d'usage. Trois choses sont achetables : la technologie qui enregistre le fait qu'un bénéficiaire a ressenti un bénéfice, la machinerie contractuelle qui convertit cet enregistrement en paiement, et la machinerie qui établit que l'enregistrement n'a pas été truqué. Sans elle, ni la distribution ni la cocréation n'ont d'unité dans laquelle régler les comptes.

Hors de l'équation

- ⊙ L'infrastructure hors des technoblocs. Pendant le demi-siècle qui commence en 2035, les effectifs augmentent principalement dans la partie du monde qui n'appartient aujourd'hui à aucun des deux technoblocs. La séquence du XXe siècle, dans laquelle une main-d'œuvre bon marché attire l'industrie manufacturière, ne se rejouera pas, de sorte que ces effectifs ne se convertissent pas d'eux-mêmes en pouvoir d'achat. Investir pour bâtir la capacité d'achat et investir pour vendre sont deux choses différentes : vendre sur un marché où le revenu n'est pas encore arrivé transforme la vente en prêt.
- ⊙ L'orbite. Des semi-conducteurs qui fonctionnent à haute température, et une forme de radiateur qui remplace le panneau solide, méritent d'être achetés. C'est le rival de la fusion et du réseau, et en même temps leur assurance.

Une mise en garde traverse les dix rubriques. La plupart des rendements nommés ici existent parce que la contrainte n'a pas encore été levée. Le terrain raccordé au réseau est cher parce que la procédure est lente, et des autorisations et un raccordement plus rapides en rognent le rendement. L'infrastructure énergétique au sol est chère parce que l'orbite ne s'est pas encore ouverte, et une fois l'orbite ouverte, la rente de rareté qui la rendait chère disparaît vite.

11 Onze prédictions, et ce qui montrerait qu'elles sont fausses

Écrire les prédictions ne suffit pas. Ce qui me ferait admettre que l'une d'elles était fausse doit être écrit avec la même précision. Le tableau n'existe pas pour protéger les prédictions, mais pour qu'une prédiction fausse puisse être écartée sans discussion.

	Prédiction	Observez ceci et la prédiction est perdue
I	L'énergie	À la fin de 2035, aucune année n'est apparue, dans aucun grand bloc économique, où l'investissement nouveau en capital dans le nucléaire a dépassé l'investissement nouveau en capital dans les renouvelables
I'	La fusion (électricité livrée au réseau dans les années 2030, coût au niveau des sources existantes dans les années 2040)	Aucune centrale à fusion n'a fourni de l'électricité à un réseau commercial de façon soutenue à la fin de 2040, ou le coût actualisé de l'électricité de fusion atteint le niveau des sources existantes à la fin de 2040
II	Le réseau	Les régions qui se classent en tête pour le prix effectif de l'électricité industrielle, la fiabilité et le délai de raccordement ne sont pas choisies, d'ici 2035, comme sites de nouvelles capacités de calcul et de production à l'échelle du gigawatt
III	L'IA physique	À la fin de 2032, aucun producteur n'a atteint une production annuelle de 10 000 humanoïdes
IV	Les naissances en Chine	Les naissances annuelles de 2032 dépassent 7 millions
IV'	Le retournement de la fécondité	Un retournement significatif est observé dans un pays centré sur les transferts en espèces avant d'apparaître dans un pays qui a abaissé les prix effectifs de l'énergie et du logement
V	Le travail	La baisse de l'emploi des jeunes par rapport aux autres tranches d'âge, dans les métiers dont l'exposition mesurée à l'IA est la plus forte, se stabilise dans la seconde moitié des années 2020 et ne s'élargit plus ensuite
V'	La reconversion	Un programme de reconversion à grande échelle rétablit le taux d'emploi de la cohorte visée de manière statistiquement significative
VI	La politique	À la fin de 2040, ni un impôt sur la fortune ni un taux marginal supérieur au niveau de 70 % n'est apparu dans les programmes des partis au gouvernement dans deux grandes économies avancées ou plus
VI'	La mobilité de la base fiscale	Dans un pays qui met en œuvre un impôt sur la fortune ou un taux marginal supérieur au niveau de 70 %, ni une sortie nette des plus gros contribuables ni un rétrécissement de la base déclarée de cet impôt, par rapport à des estimations indépendantes des plus hauts patrimoines, n'est observé cinq ans après son entrée en vigueur
VII	La distribution	À la fin de 2040, ni les comptes de capital ouverts à la naissance, ni les fonds détenus comme participation nationale, ni les participations universelles dans le capital d'automatisation n'ont été institutionnalisés comme politique dominante dans un grand pays

VIII	La demande	À la fin de 2040, la pénurie de main-d'œuvre se classe encore avant la pénurie de demande dans les documents de politique publique des grands pays
IX	La mesure	À la fin de 2040, pas un seul cas commercial n'est apparu où le paiement est réglé sur une mesure directe de la valeur d'usage
IX'	Les unités en énergie	À la fin de 2040, aucun contrat commercial hors d'un marché réglementé ne règle directement la contrepartie en unités d'énergie consommée ou en quotas d'émission
X	L'unité de création de valeur	À la fin de 2040, l'effectif moyen des entreprises du logiciel et de l'IA n'a pas baissé
XI	Les clusters	À la fin de 2040, ni le Texas ni les Émirats ne figurent parmi les principaux sites de calcul et de production à l'échelle du gigawatt
XI'	L'orbite	Aucune démonstration orbitale à l'échelle de 50 kilowatts à la fin de 2032
Zéro	Le cadre lui-même	Dans une fenêtre de dix à trente ans, il est montré que la qualité des institutions évolue systématiquement avec la dotation en ressources. Dans ce cas, le premier terme de l'équation n'est pas un terme indépendant

Lorsque l'une d'elles est réfutée, qu'est-ce qui se brise dans le squelette ? Si l'énergie est perdue, le calendrier glisse vers l'arrière, mais l'identification de la contrainte survit. Si le réseau est perdu, c'est l'identification elle-même, celle qui place la contrainte au raccordement, qui est fautive. Si les naissances en Chine sont perdues, le plus grand cas à l'appui du diagnostic est faux. Si le travail est perdu, la rupture entre la tâche et le revenu, celle qui appelle la distribution de la propriété, ne se produit pas encore. Si la distribution est perdue, la conception que cette thèse juge nécessaire se sera révélée politiquement impossible. Celle dont l'échec porterait le plus loin est celle des naissances en Chine. Celle qui a le plus besoin de tenir est la distribution. Certaines seront fausses, et celles qui échoueront, ainsi que la manière dont elles échoueront, en diront plus long que celles qui tiennent.

12 L'institution à bâtir

Ce que je propose est un intégrateur de ressources, un organisme qui rassemble en une seule entreprise le capital, la technologie, les sites et les autorisations détenus séparément par des acteurs des États-Unis, des Émirats et de Japon-Corée du Sud-Taiwan : une plateforme de cocréation qui se situe entre un fonds, un studio et un consortium.

Comme fonds de capital-risque, il lève du capital et le met au travail. Comme studio, il nomme, programme par programme, le thème à traiter, et intègre les ressources des acteurs qui se rassemblent autour de ce thème pour cocréer des concepts qui n'existent pas encore. Comme consortium, il réunit dans un même contrat les parties de l'énergie, du calcul et de la réglementation. Un organisme qui fait les trois à la fois est ce que cette thèse entend par écosystème.

Le studio fonctionne ainsi. Il énonce une vision d'une taille que personne n'atteint seul, par exemple construire de bout en bout une usine de fabrication entièrement automatisée. Les acteurs qui détiennent les technologies constitutives qu'exige cette vision se réunissent de leur propre initiative pour créer de la valeur, combinent leurs idées, et conçoivent, construisent, exploitent et testent une gamme de produits. La composition change d'un programme au suivant. Mettre dans une même pièce des gens de disciplines différentes et les faire concevoir ensemble n'est pas nouveau en soi. Ce qui change ici, c'est la sortie : elle ne s'arrête pas à un concept proposé, mais y attache des gigawatts, du calcul et un site, et mène le travail jusqu'à la chose réelle.

Le capital part des fonds souverains des Émirats, qui travaillent à bâtir une industrie nationale. Il va du côté des bits, vers les modèles de fondation et la recherche fondamentale en IA de la baie de San Francisco, du Texas et du BosWash, et du côté physique, vers les acteurs de la chaîne d'approvisionnement physique de pointe et de la prochaine génération de réacteurs nucléaires au Japon, en Corée du Sud et à Taiwan. Les entreprises financées

choisissent ensuite, comme terrain de leurs expériences physiques, les Émirats et le Texas, où l'énergie est bon marché, où un site se trouve, où les autorisations sont rapides et où un bac à sable réglementaire est en place. C'est ainsi que les Émirats et le Texas en viennent à compter parmi les premiers lieux de la mise en œuvre physique.

À propos de l'auteur

Bonjour, je suis Arata Hoshino, designer stratégique et venture designer, établi aux Émirats arabes unis. Bien que j'aie grandi au Japon, j'ai passé mon adolescence à lire ce qui s'écrivait sur la technologie de la Silicon Valley, le long-termisme, le techno-libertarianisme et les idées de Buckminster Fuller.

J'ai obtenu un BEng en génie mécanique et énergétique à l'université Waseda, puis un MSc en Media Design à l'université Keio, avec des travaux de recherche en design de services et en venture design, et enfin le CEMS MIM (MSc en management international) à HEC Paris et à l'Université nationale de Singapour. J'ai ensuite travaillé dans le capital-risque et le conseil en stratégie à San Francisco et à Singapour. De 2024 à 2026, j'ai conseillé des ministères des Émirats en matière de stratégie économique au sein d'un cabinet de conseil en politiques publiques et en économie de l'IA issu des communautés de Harvard et de l'OCDE.

La présente note est la forme courte de *L'autre versant de la contrainte*, qui porte l'argument entier et les preuves qui le soutiennent : neuf chapitres, 28 figures et plus de 120 pages sur une seule question fondamentale, ce qui détermine combien une civilisation peut réellement bâtir. L'ouvrage soutient que la réponse a changé au cours des cinquante dernières années presque sans que personne s'en aperçoive, et il en suit les conséquences à travers l'énergie, la population, la valeur, les clusters industriels et l'investissement. Il est écrit pour les lecteurs qui veulent vérifier le raisonnement par eux-mêmes : les chercheurs, les concepteurs de politiques publiques, les fondateurs de la deep tech et les investisseurs qui bâtissent, gouvernent et allouent du capital sur de longs horizons. C'est une lecture de quelques soirées plutôt que d'une seule, et il se termine en énonçant ce qui réfuterait l'hypothèse et ce qu'il ne prétend pas prouver. Si vous souhaitez le lire, ou le contester, contactez-moi.

La thèse, les essais qui en sont nés et les notes qui l'expliquent sont rassemblés sur aratahoshino.com. Vous pouvez me joindre par [courriel](#), sur [LinkedIn](#) ou sur [X](#). Le périmètre de chaque projet figure dans mon [portfolio \(PDF\)](#), et ma position dans mon [document de vision \(PDF\)](#).

Rencontrons-nous, et parlons.

© 2026 Arata Hoshino. Publié sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Citez, traduisez, extrayez et rediffusez librement ce texte, y compris à des fins commerciales, à condition de nommer l'auteur et la source. À citer comme : Arata Hoshino, *An Investment Thesis for the Economy Beyond Constraint* (2026). Cette thèse n'est pas une preuve rigoureuse du type de celles qu'offre un article universitaire, et ses chiffres, sources et plans sont, sauf indication contraire, ceux de septembre 2026.