

L'épouvantail exponentiel

« L'amour est éternel, jusqu'à ce qu'il s'arrête » (Cali)

Un spectre hante la planète écologiste : la croissance exponentielle.

D'après une légende arabe¹, le sage Sessa, ayant inventé le jeu d'échecs, réclama au roi de Perse, en guise de récompense, qu'il déposât un grain de blé sur la première case de l'échiquier, 2 grains sur la 2^e, 4 sur la 3^e, et ainsi de suite, sur chacune des 64 cases qui le composaient. A elle seule, la dernière case devait contenir 2⁶⁴ grains de blé. Le total était tellement astronomique que la livraison s'avéra impossible.

Imaginons maintenant des bactéries vivant dans une bouteille. *« Leur population double toutes les minutes. A 11 h il y a une bactérie. A midi la bouteille est pleine. Elle est à moitié pleine à 11h 59, laissant juste l'espace nécessaire pour un doublement de plus. Les bactéries, sentant le danger, cherchent de nouvelles bouteilles et en trouvent trois. Elles pensent avoir réglé le problème A midi, la première bouteille est pleine. A midi une, la seconde² bouteille est pleine. A midi deux, toutes les bouteilles sont pleines. C'est le problème devant lequel nous sommes, dû aux doublements répétés résultant de la croissance exponentielle... »*³

Quoi de commun entre des bactéries et des grains de blé, entre des bouteilles et les cases d'un échiquier ? Rien, sinon que les deux images sont utilisées par certains tenants de la « décroissance » pour illustrer une démonstration qu'ils veulent percutante : la croissance économique n'est pas tenable, en raison de son caractère exponentiel.

Mais cette affirmation suppose d'en admettre deux autres :

1. Une croissance exponentielle n'est pas soutenable
2. La croissance économique est exponentielle par essence

La seconde proposition, sous-entendue dans le raisonnement, est un présupposé que je me propose de contester par la suite.

La première proposition ne manque pas d'arguments sérieux à son appui mais ce que je voudrais montrer dans l'immédiat, c'est que l'usage trompeur des métaphores citées participe d'une entreprise qui vise davantage à convaincre par la peur que par la raison. Il convient donc de démythifier l'« épouvantail » exponentiel.

Qu'est-ce qu'une croissance exponentielle ? La croissance a-t-elle une seule manière d'être exponentielle ?

1 Racontée par Al Sephadi. Cf. ; <http://pratclif.com/2016/20160512croissance.htm>

2 On dit « deuxième » dans ce cas. Si c'est la « seconde » bouteille, c'est qu'il n'y en a pas d'autres. J'espère qu'on ne me tiendra pas rigueur de cette petite correction langagière.

3 Citation extraite d'une vidéo intitulée « Sans lendemain », réalisée en 2013 par Dermot O'Connor, éditée par *Incubatepictures*. <https://www.youtube.com/watch?v=a0J2gj80EVI>

La croissance dite exponentielle fait donc l'objet d'une diabolisation dont on trouve d'autres indices, tel ce titre étrange : « La croissance et la diabolique fonction exponentielle »⁴ donné à un article économique, dont le contenu n'est pas en reste : « Pour agrémenter l'article », est-il annoncé dans son chapô, « quelques exemples suggéreront à la fois le caractère mystérieux, énigmatique, élégant et diabolique de la fonction citée », tandis qu'est évoquée en conclusion « ...la fonction exponentielle, aussi fascinante que diabolique ». C'est sans doute parce que la mathématique est une discipline réputée aride qu'on est tenté de lui insuffler un peu de la poésie dont elle semble manquer *a priori*⁵. Mais pour l'heure, je crois plus utile de la dé-diaboliser que d'ajouter du mystère au mystère et de la peur à la peur. Je n'aurai pas l'outrecuidance de prétendre « rappeler » la définition de la fonction exponentielle (affaire de spécialistes sous le contrôle desquels je me place humblement) ; je me bornerai à souligner l'essentiel à retenir de cette définition pour en comprendre l'enjeu économique.

Une croissance exponentielle est une croissance dont le taux annuel, appliqué chaque année à la grandeur de l'année précédente, est constant. C'est l'autre nom d'une progression géométrique, qui est à la progression arithmétique ce que la fonction exponentielle est à la fonction linéaire. Tandis que chaque terme d'une progression arithmétique s'obtient en ajoutant un nombre constant au précédent, il faut, dans une progression géométrique, multiplier chaque terme par un facteur constant. Ce facteur indique le taux de croissance. Par exemple, s'il est de 1,2, le taux de croissance est de 20 %.

Revenons à la légende de l'inventeur du jeu d'échecs. La quantité de blé à fournir sur chaque case était fonction du nombre de cases déjà remplies. A chaque case on devait doubler le nombre de grains, autrement dit ajouter à la quantité de la case précédente 100% de cette quantité. (la 2^e case devait recevoir 2² grains, la 3^e, 2³, la xième, 2^x, la 63^e, 2⁶³, la 64^e et dernière, 2⁶⁴). On peut dire que le taux de croissance de la quantité de blé de chaque case par rapport à la précédente est de 100%. Il est constant. La constance du taux de croissance définit une fonction exponentielle. La détermination de la quantité de blé à poser dans chaque case est une fonction exponentielle. Mais toutes les fonctions exponentielles ne ressemblent pas à celle-ci, qui se distingue par un taux de croissance de 100%.

La croissance économique est l'augmentation du volume du PIB (produit intérieur brut). On dit quelquefois que le PIB est la richesse d'une nation. Cette affirmation rapide mérite d'être, sinon corrigée, du moins précisée sur deux points : premièrement, le PIB n'est pas la richesse, mais la production annuelle de richesses ; c'est un flux et non un stock. Deuxièmement, le PIB n'est pas la production, mais une représentation de la production, comme la température n'est pas la chaleur, mais une représentation de la chaleur.

L'évocation de la métaphore du jeu d'échecs sous-entend que la croissance économique, de par son caractère exponentiel, aboutirait au bout de peu de temps à des niveaux de production (donc de consommation de ressources et de pollution) insupportables.

La comparaison suppose de préciser :

4 Alain Desert, <http://www.economiamatin.fr/news-croissance-theorie-economique-fonction-exponentielle>. 12 mai 2016,

5 Voir le « nombre d'or » et les « divines proportions »

que la formulation de la quantité totale de blé réclamée par Sessa au roi de Perse est en réalité bien plus qu'une fonction exponentielle : c'est l'addition de 64 fonction exponentielles. C'est un peu comme si, pour montrer l'insoutenabilité de la croissance économique, on additionnait les PIB réalisés annuellement depuis 1950, en laissant croire que celui de 1950 envahirait encore la Terre, comme si le PIB était un stock et non un flux ;

que l'équivalent du nombre de cases de l'échiquier serait une durée ; on l'exprime généralement en années quand on parle de croissance économique ;

que si chaque case équivalait à une année, il faudrait un taux de croissance annuel de 100 %, constant pendant 64 ans pour que la fonction qui détermine la quantité de blé de chaque case soit représentative de la fonction qui exprime la croissance économique d'un pays ; cherchez un pays ayant jusqu'aujourd'hui affiché une telle croissance.

Il est en fait plus parlant d'imaginer que la case est l'équivalent, non pas d'une année, mais d'une période, définie comme celle qui est nécessaire pour que le PIB double. Cela dépend des pays et des taux de croissance. Le taux de croissance mondial tourne autour de 3 % par an depuis 1960. Il a fallu 25 ans (entre 1994 et 2018) pour voir doubler le PIB mondial⁶. Autrement dit, au niveau mondial, une case d'un échiquier est l'équivalent de 25 ans, et non pas d'une année comme l'impression en est donnée inconsciemment par les conteurs à leur auditoire.

De même, la métaphore des bactéries suppose que leur population double toutes les minutes. Pourquoi pas deux, pourquoi pas trois minutes, pourquoi pas trente secondes ? Comme il s'agit d'une métaphore, le choix du signifiant est évidemment arbitraire. La principale question est surtout celle-ci : que représente une minute, en terme d'équivalent pour le temps de la croissance économique ? Réponse : une minute représente ici 25 ans de croissance mondiale, mais aussi, il est vrai, 8 ans de la croissance récente de la Chine, 28 ans de la croissance des Etats-Unis (1990-2018), 39 ans de la croissance de la France (1979-2018) ... On pourrait multiplier les exemples, tous différents les uns des autres.

Ce que fait ressortir l'exploitation de ces métaphores, c'est que, contrairement à ce qu'elles suggèrent, la croissance n'a pas une seule façon d'être exponentielle. Entre un taux de croissance annuel constant de 1 % et un taux tout aussi constant et tout aussi annuel de 100 % (ou davantage, pourquoi pas), il y a une marge. Ainsi, tandis qu'avec un taux annuel moyen de croissance de 9,2 %, le PIB de la Chine a été multiplié par 43 en 42 ans (de 1976 à 2018), le PIB mondial, sur la même période, a simplement triplé en croissant de 2,9 % en moyenne chaque année.

D'ailleurs, l'enjeu n'est pas la forme de la fonction de croissance. Si la croissance n'est pas tenable, c'est dans la mesure où elle aboutit à des niveaux de production excessifs, incompatibles avec l'état des ressources de la « planète ». N'entrons pas pour le moment dans la discussion sur la détermination du niveau excessif. Remarquons simplement qu'un même niveau de production peut être atteint dans une même période de temps, à partir du même

6 Ces données, ainsi que la plupart de celles qui suivent, proviennent de la Banque mondiale <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>

niveau de départ, aussi bien par une progression arithmétique que par une progression géométrique, mais avec des taux évidemment différents.

Ainsi, entre 1950 et 2018, le PIB de la France a été multiplié par $7,79^7$. Avec le recul, on peut s'amuser à constater que la fonction linéaire n'aurait pas plus mal réussi à exprimer cette croissance que la fonction exponentielle, à condition toutefois d'adapter les taux pour la faire tenir dans une cote de toute façon mal taillée.

Si nous exprimons la croissance française sous la forme d'une fonction exponentielle, nous trouvons :

Le PIB de 2018 = le PIB de 1950 x $7,79$ (rappel).

Or, $7,46306544 = 1,03$ puissance 68.

On peut dire que le PIB de 2018 est égal approximativement au PIB de 1950 multiplié par (1,03 puissance 68). On peut traduire la croissance française de 1950 à 2018 en l'exprimant comme une croissance exponentielle dont le taux serait de 3 %.

Si nous exprimons la croissance française sous la forme d'une fonction linéaire, nous trouvons :

$(\text{PIB de 2018} - \text{PIB de 1950}) / 68 = 29,30$ milliards d'euros environ d'accroissement annuel moyen, ce qui représente 9,99 % du PIB de 1950.

Conclusion : Le PIB de 2018 aurait pu soit résulter d'une progression arithmétique (fonction linéaire) au taux de 10 % (rapport entre le supplément annuel et le PIB de 1950), soit d'une progression géométrique (fonction exponentielle) au taux de 3 % (rapport entre le supplément annuel et le PIB de **l'année précédente**).

On peut d'ailleurs se demander accessoirement si une croissance qui ne serait pas exponentielle aurait moins d'inconvénients qu'une croissance exponentielle.

En réalité, comme on le verra, aucune de ces deux fonctions n'est représentative de la croissance réelle.

La croissance économique est-elle exponentielle par essence ?

Dans son introduction, Alain Desert, (art.cit.) annonce vouloir démontrer « *qu'une croissance économique à profil exponentiel, à l'échelle mondiale ou des zones développées, n'est absolument pas soutenable sur le moyen/long terme* », ce qu'il fait, avant de conclure, en substance : « *J'ai voulu démontrer que la croissance en volume (volume de produits) n'est plus compatible avec un monde fini et le maintien d'une qualité de vie, que la **fonction exponentielle**, aussi fascinante que diabolique, en fixait les limites d'un seul point de vue mathématique. ...* »

Cette phrase sous-entend que la fonction exponentielle est inhérente à toute croissance économique. N'y aurait-il donc rien entre la croissance zéro, comme on disait autrefois, et la croissance exponentielle ? N'y aurait-il donc rien entre la croissance exponentielle et la décroissance, comme on dit plus volontiers aujourd'hui ?

Pour arriver à une telle conclusion, il faut admettre deux propositions qui ne vont pas de soi, à savoir, premièrement, que la croissance économique est réellement exponentielle et deuxièmement, que la croissance économique ne peut pas ne pas être exponentielle.

1 La croissance réelle est-elle exponentielle ?

Pour parodier le chanteur Cali (« L'amour est éternel, jusqu'à ce qu'il s'arrête »), je répondrai d'emblée que la croissance est exponentielle... jusqu'à ce qu'elle ne le soit plus !

On est libre donner à la réalité la forme que l'on souhaite. On peut repérer dans les nuages des corps de mouton, des têtes de femmes ou d'hommes... et derrière les constellations, des formes d'animaux (le lion, l'aigle, l'ourse, la grande, la petite)....

Il est toujours possible de calculer un taux annuel moyen de croissance. C'est ce type de donnée qui m'a servi à déterminer la période de doublement du PIB du monde, de la Chine, des Etats-Unis et de la France. L'application d'un taux annuel moyen de croissance au PIB d'une année initiale donnée et sur un certain nombre d'années donne l'illusion que ce taux est constant et que cette croissance est exponentielle. Qu'en est-il en réalité ?

Pour commencer, attardons-nous sur le cas de la France, dont l'INSEE⁸ mesure la croissance depuis 1950.

La croissance économique de la France.

Considérons trois périodes de l'histoire économique de la France depuis 1950. Ces trois périodes sont de durée égale. Le découpage comporte une part d'arbitraire que j'assume ; on se reportera en annexes, aux **graphiques n° 1 à 3**⁹. Chacun d'eux présente deux courbes, reliant aux années, l'une, le taux de croissance du PIB, l'autre, sa variation absolue annuelle. On sait que dans le cas d'une fonction exponentielle, le premier est constant et le second est croissant.

Première période : 1945-1975

Seule la délimitation de cette première période échappe quelque peu à l'arbitraire puisqu'elle correspond à une réalité historique bien connue : celle dite des « trente glorieuses »

Durant cette période exceptionnelle, les taux de croissance étaient élevés, d'un minimum de 2,7 % en 1958 à un maximum de 8 % en 1960. Il n'a fallu que 14 ans pour voir doubler le PIB, dont le volume atteignait en 1964 590,1 milliards d'euros (293,4 en 1950).

⁸ Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

⁹ Evolution du Produit intérieur brut et de ses composantes jusqu'en 2018-données annuelles de 1950 à 2018 - INSEE- chiffres clés, paru le 29/05/2019

Le taux de croissance n'était pas constant. A des phases d'accélération (taux croissant) succédaient des phases de ralentissement (taux décroissants). Une croissance qui accélère, c'est, en quelque sorte, une croissance plus qu'exponentielle. Ainsi, par exemple, la croissance française bondit de 2,7 % en 1959 à 8 % en 1960. Revenue à 5 % en 1961, elle remonte à 6,8 % en 1962. La croissance ralentit entre 1951 et 1952, 1954 et 1956, 1957 et 1959, 1966 et 1968, 1969 et 1972, pour ne retenir que les ralentissements d'une durée supérieure à 2 ans. En effet, ce que l'on constate le plus souvent c'est la succession de deux années de ralentissement à deux années d'accélération. Le ralentissement n'a alors de signification que par l'accélération qui l'a précédé, dont il prouve le caractère excessif, et inversement.

Mais bon, foin de détail, objectera-t-on certainement. Personne n'a prétendu que la fonction exponentielle devait représenter exactement la réalité de la croissance. Puisque le taux de croissance oscille, il existe sans doute un taux moyen qui, lui, est constant.

On peut bien entendu calculer un taux annuel moyen. Il était de 5,2 %. Et en effet, la représentation graphique du taux de croissance donne, l'illusion d'une constance du taux de croissance. (cf. graphique 1).

Quant à la courbe des variations absolues, elle présente une allure ascendante malgré ses irrégularités, ce qui confirme l'intuition du caractère exponentiel de la croissance.

Admettons donc, par approximation que durant cette période, la croissance française fût « exponentielle ».

Deuxième période : 1976-2000

Cette période, dont la durée n'a été choisie que par commodité (pour une égalité entre les 3 périodes), est marquée par le ralentissement économique. Le taux moyen de croissance y est de 2,5 %, contre 5,2 % durant la période précédente. Le taux maximum, atteint en 1988, est de 4,7 %. Il a fallu 18 ans pour voir doubler le PIB, entre 1964 et 1982, contre 14 ans entre 1950 et 1964.

De plus, et pour la première fois depuis la seconde guerre mondiale, le pays connaît des récessions, c'est-à-dire des années au cours desquelles le taux de croissance (tout comme, fort logiquement, la variation absolue de PIB par rapport à l'année précédente), est négatif et au cours desquelles on a moins produit que l'année précédente. Ce fut le cas en 1975 (-1 %) et en 1993 (-0,6 %). Relativisons : le PIB de 1993, égal à 1 510,2 milliards d'euros, inférieur de 9,5 milliards d'euros à celui de 1992, reste environ 5 fois plus élevé que celui de 1950 !

La courbe des taux apparaît *grosso modo* horizontale, ce qui donne à nouveau l'illusion d'une constance (graphique 2). Ce n'est pas le cas de la courbe des variations absolues du PIB, qui est totalement irrégulière, et il faudrait être bien malin pour voir un quelconque caractère ascendant derrière cette irrégularité.

Troisième période : 2001-2018

C'est également une période de ralentissement. Le taux maximum est de 2,8 %. Atteint en 2004, il est inférieur au taux maximum de la période précédente, (de 4,7 %, pour rappel).

Le pays connaît en 2009 une récession plus dure (-2,9 %) que les celles de 1975 et de 1993.

Le taux moyen de croissance dans cette période est de 1,27 %.

On ne peut déceler (graphique 3) aucun caractère ascendant de la courbe des variations absolues, qui est totalement irrégulière. Si la courbe des taux apparaît à nouveau d'allure horizontale, c'est pour frôler l'axe des abscisses, à tel point, pourrait-on en conclure, que la croissance française ne devient exponentielle que lorsqu'elle est proche de zéro, réussissant l'exploit de réconcilier les tenants de la croissance exponentielle et ceux de la croissance zéro !

Enfin, si 14 ans ont suffi pour un doublement du PIB entre 1950 et 1964, s'il lui a fallu 18 ans pour doubler à nouveau, entre 1964 et 1982, notons qu'en 2018, au bout de 36 nouvelles années, on n'est pas encore parvenu à un troisième doublement, même si on en est proche (le PIB de 2018 étant égal à 2285,9 milliards d'euros, contre 1 200, 5 milliards en 1982).

Admettons que la croissance fût exponentielle entre 1950 et 1975. Admettons qu'elle le fût encore entre 1976 et 2000, avec un taux constant deux fois moins élevé. Admettons enfin qu'elle le fût toujours entre 2001 et 2018, avec un taux moyen encore plus faible, mais que la magie de la moyenne rend constant.

Personne n'osera cependant prétendre que la croissance française est restée exponentielle depuis la fin de la seconde guerre mondiale, alors que la tendance du taux de croissance est à la baisse depuis 1975. Autrement dit, ce qui est vrai sur chaque petit bout d'une période n'est pas nécessairement vrai sur l'ensemble de la période.

Force est de constater que si l'on prend un peu de recul, le qualificatif de *cyclique* convient beaucoup mieux que celui d'*exponentiel* pour qualifier la croissance française depuis la fin de la seconde guerre mondiale.

On ne saurait bien sûr se satisfaire de l'évocation de l'exemple d'un pays qui n'occupe que 0,86 % de la population et 3,2 % du PIB du monde. Qu'à cela ne tienne : voyons ce qu'il en est de la première puissance mondiale, les Etats-Unis, qui, en 2018, avec 4,3 % de la population mondiale, contribuaient pour 23,9 % du PIB mondial (cf. annexes, tableau 1)¹⁰.

La croissance économique des Etats-Unis

Sur la période 1961-2018, on observe un taux moyen de croissance de 3,04 %, semblable à la moyenne mondiale de 3,49 %, ce qui a multiplié le PIB des Etats-Unis par 5,63. Le taux maximum de 7,237 % a été enregistré en 1984, mais le pays a connu ponctuellement des croissances quasi nulles comme en 1970, 1974, 1975, 1980 et 1991 et deux courtes mais graves récessions, en 1982 (-1,8 %) et en 2009 (-2,54 %). Il faudrait avoir un sens particulièrement aigu de l'approximation pour accepter l'idée d'une constance du taux de croissance lorsque celui-ci varie par exemple de 7,2 % à -0,1 % en 8 ans (1984-1991) et de 4,75 % à -2,54 % en 11 ans (1999-2009). Par conséquent, comme celle de la France, la croissance des Etats-Unis présente un caractère cyclique (en tout cas fluctuant) par ailleurs

¹⁰ Toutes les données chiffrées qui suivent proviennent du site de la banque mondiale.

assez bien mis en évidence par le graphique 4. Et comme la croissance française, celle des Etats-Unis ne peut être qualifiée d'exponentielle sauf sur une période limitée.

Il sera cependant facile d'objecter que le cas des Etats-Unis n'est pas davantage représentatif de la croissance mondiale que celui la France. En effet, au-delà de leurs différences (notamment de taille), ces deux pays représentent des cas typiques d'un régime de croissance que l'on pourrait dire « de croisière » : ce sont de vieux pays développés. Il n'en est pas de même des pays émergents, et singulièrement du plus puissant d'entre eux en terme démographique, la Chine.

La croissance économique de la Chine

En 2018, les 1 415 millions de Chinois représentaient 18,62 % de la population mondiale et ont contribué pour 15,9 % du PIB mondial (cf. tableau 1).

Depuis 1976 (mort de Mao-Tse-Toung), les taux de croissance annuels ont oscillé autour d'une valeur moyenne de 9,2 %, en passant, en 1984, par un maximum de 15,1 %. Ils ne sont guère redescendus par la suite, même si la tendance est au ralentissement. Après une forte diminution jusqu'à un minimum de 3,9 % atteint en 1990, le taux annuel de croissance a vite retrouvé ses deux chiffres dès 1992 (14,2 %). La tendance est ensuite au ralentissement progressif, jusqu'à un 6,6 % en 2018. C'est autour de cette valeur que cette croissance semble désormais se stabiliser. Il n'empêche que le PIB chinois a ainsi doublé en moins de 10 ans, entre 1976 et 1984, et qu'il a été multiplié par 43 entre 1976 et 2018 !

Ce n'est pas pour rien que les « lanceurs d'alerte » qui mettent en garde contre la croissance exponentielle privilégient l'exemple chinois, tel Alain Desert (art.cit.) qui précise qu'une croissance de 15 % pendant 40 ans « multiplie la production de biens et services par 268 » et qu'à un rythme de 7 %, « le niveau de l'activité économique est multiplié par 15 toujours au bout de 40 ans. ... »

En effet, la croissance chinoise est sans doute l'une de celles qui présentent l'aspect le plus effrayant, par leur caractère vertigineux. Mais ce qui rend cette croissance vertigineuse, c'est moins son caractère exponentiel, en toute rigueur non avéré, (le taux annuel de croissance n'est pas constant) que le niveau moyen particulièrement élevé de ces taux.

Cependant, ce rythme de croissance s'éclaire d'un jour nouveau dès lors que l'on prend en considération le niveau « initial »¹¹ de la production. En 1976, le PIB chinois était de 263,9 dollars (\$ US constants de 2010) par habitant et par an, contre 24 164,7 en France : autrement dit, un Français disposait pour vivre d'un morceau de richesse nationale 92 fois plus élevé qu'un Chinois. En 2018, avec 43 663,6 \$, un Français disposait encore d'une richesse potentielle 5,6 fois plus élevé que le citoyen d'une Chine, qui avait produit 7 755 \$ par habitant.

On dira qu'il faut tenir compte d'une différence de coût de la vie entre les deux pays. Eh bien, faisons-le en mesurant le PIB par habitant en PPA¹² (\$ PPA internationaux constants

11 Le choix de ce terme est, il est vrai, tout aussi arbitraire que celui de l'année en question

12 Parité de pouvoir d'achat

de 2011). Les données manquent jusqu'en 1990. En 1990, ce montant était en Chine de 1 522 et en France de 29 464,1. A cette date, un Français disposait donc en moyenne d'un pouvoir d'achat potentiel 19 fois plus élevé qu'un Chinois.

En 2018, avec un montant de 16 186,8 \$ en Chine et de 39 555,5 en France, l'écart n'est toujours pas comblé. Pour autant, la production a suffisamment augmenté pour qu'une poursuite de son augmentation soit de moins en moins envisageable. Indépendamment de ce que l'on peut souhaiter, le ralentissement semble donc inéluctable, comme Alain Desert le prévoit lui-même : *« comme les autres pays développés, la croissance chinoise devra passer par une phase quasi linéaire (après la phase exponentielle), c'est-à-dire qu'en pourcentage elle croîtra de moins en moins, passant à 6 % puis à 5 %, à 4 %, et ainsi de suite jusqu'à s'infléchir à l'approche du zéro pour ensuite stagner voire décroître ; ce sont les lois de la nature qui l'exigeront, et non pas la volonté des hommes »* (A. Desert, art.cit.).

En somme, la croissance exponentielle n'est diabolique que lorsqu'on l'imagine éternelle et qu'on l'extrapole sur le long terme. Elle l'est beaucoup moins quand on sait qu'elle n'a pas « vocation » à durer, que les taux élevés sont inhérents aux processus de rattrapage et de développement accéléré, tandis que le ralentissement signe la maturité.

Un peu de recul

L'observation de la croissance réelle permet donc de déterminer des périodes au cours desquelles le taux de croissance annuel est constant. Mais qu'est-ce qu'une fonction exponentielle qui ne se définit que sur une durée limitée ? Une succession de périodes de croissance à des taux constants de plus en plus bas doit-elle être considérée comme la succession de plusieurs périodes de croissance exponentielle ou comme une période unique de ralentissement de la croissance ? Une fonction se définit-elle par morceaux ? Existe-t-il un théorème selon lequel la succession de différentes fonctions exponentielles serait une fonction exponentielle ? Je m'en remets au jugement des mathématiciens sur ce point.

La croissance réelle ne se laisse pas facilement enfermer dans une forme mathématique quelconque. Seule l'idée de cycle a permis jusqu'ici aux économistes de prêter un semblant de régularité à ce phénomène de la croissance, leur évitant d'en reconnaître le caractère parfaitement aléatoire. A des phases d'accélération (taux croissant), succèdent des phases de ralentissement (taux décroissant) et quelquefois de récession (taux négatif). Si la durée de ces différentes phases était régulière, on aurait affaire à des cycles. Faute d'une telle régularité, les plus modestes se contentent d'évoquer des « fluctuations ».

Constater le caractère exponentiel de la croissance sur des périodes limitées et dans des régions déterminées du monde ne suffit pas pour conclure que ce caractère serait inhérent à toute croissance économique et que la croissance ne pourrait pas ne pas être exponentielle. Si l'on voulait prouver un tel lien de nécessité, il faudrait chercher si la croissance économique a par essence des raisons fondamentales d'être exponentielle

2 La croissance économique a-t-elle des raisons d'être exponentielle ?

Il y a quelque chose d'universel dans la croissance

Cela pose la question des raisons d'être (tout court) de la croissance économique. La singularité de la croissance contemporaine (qu'on l'appelle industrielle, qu'on l'appelle capitaliste, qu'on la qualifie de folle ou qu'on la loue) ne doit pas nous cacher qu'il y a quelque chose d'universel à cette notion : tout individu qui arrive à l'âge adulte fait quelque chose de sa vie ; il a une activité, et c'est cette activité qui est comptabilisée dans le produit intérieur brut, et c'est ce produit dont on mesure l'augmentation avec la notion de croissance. Il en est ainsi pour toute activité marchande, qu'elle consiste en une production, en un travail intellectuel ou artistique, qu'elle consomme ou pas des ressources naturelles, qu'elle pollue un peu, beaucoup ou pas du tout. Et si de plus en plus d'individus arrivent à l'âge adulte dans une population, il y a de la croissance économique.

La croissance économique est donc inévitablement liée à la croissance démographique. Le simple maintien de la quantité de ressources par habitant commande à la production d'augmenter au même rythme que la population. Et si la population augmente de manière exponentielle, il faut une croissance exponentielle.

Les contempteurs de la croissance exponentielle peuvent se prévaloir d'un fameux précurseur en la personne de l'économiste anglais Thomas Malthus (1766-1834). Mais si ce dernier partage avec les premiers la peur de la fonction exponentielle, c'est pour des raisons diamétralement opposées : Malthus, loin de redouter la croissance économique, craignait au contraire qu'elle fût insuffisante pour faire face à une croissance démographique qu'il déclarait exponentielle. Dans son « Essai sur le principe de population », paru en 1798, il affirmait en effet que la population croissait selon une progression géométrique, tandis que « les ressources » augmentaient selon une progression arithmétique¹³.

Si dans une population chaque femme en âge de procréer donne naissance à deux filles et que chacune d'elles donne elle-même naissance à deux filles, et ainsi de suite, on voit que potentiellement, la population double à chaque génération. Abstraction faite, bien évidemment - excusez du peu - de la mortalité. De plus, l'exemple est arbitraire. Il suppose une fécondité correspondant à un « taux brut de reproduction¹⁴ » de 2. Pourquoi pas 1, pourquoi pas 3, ... ?

Prenons 1. Et de plus, pour tenir compte de la mortalité, quitte à l'exagérer, imaginons un monde « idéal » où chaque couple mettrait fin à ses jours après avoir donné naissance et élevé 2 enfants, de sexes opposés de préférence¹⁵. Chaque couple disparu serait remplacé par un nouveau couple et la population serait stationnaire. Dans la réalité, la plupart des parents décident de survivre quelque temps à l'arrivée de leurs enfants à maturité. Imaginons à l'inverse le cauchemar de l'immortalité et gardons la même hypothèse de fécondité. Dans ce cas, à chaque génération s'ajouterait une génération numériquement équivalente. On aurait affaire à une progression arithmétique. Pas moins cauchemardesque, on le conçoit, qu'une « diabolique » progression géométrique.

A l'inverse, avec une hypothèse malthusienne de fécondité, si chaque femme donne naissance à 2 filles, la population double à chaque génération, même si les parents ne

13 On ne se priva pas par la suite de dénoncer là une erreur due à la non-prise en compte du progrès technique.

14 Nombre moyen de naissances vivantes féminines par femme, en l'absence de mortalité

15 Le taux brut de reproduction serait alors égal à 1

survivent pas à l'arrivée de leurs enfants à l'âge adulte. On a alors affaire à une progression géométrique, hypothèse qui avait la préférence de Malthus.

La réalité est une combinaison entre ces hypothèses extrêmes : il n'y a pas d'immortalité, mais les parents survivent pendant un temps toujours plus long du fait de l'augmentation de l'espérance de vie. Le taux de fécondité n'est ni exactement de 1 ni exactement de 2, mais varie selon les époques et selon les régions du monde¹⁶. Sa tendance est à la diminution, accompagnant le phénomène du développement économique et social.

Le cas chinois illustre parfaitement cette évolution (graphique 5).

Croissance, rattrapage, transition démographique

La population de la Chine a atteint le chiffre symbolique du milliard d'habitants en 1982. Elle a été multipliée par 1,7 entre 1960 et 2018. Mais dans la période où le PIB chinois était, on l'a vu, multiplié par 43, entre 1976 et 2018, la population, elle, n'était multipliée que par 1,49. C'est dire que le caractère spectaculaire de la croissance économique chinoise dans cette période ne doit rien à un quelconque caractère exponentiel de sa population. Au contraire, le taux de croissance de cette population a une nette tendance à la diminution à partir de 1970 (politique de l'enfant unique oblige). Et si l'on s'intéresse à la variation absolue de cette population, on constate qu'on n'est pas loin d'observer une progression... arithmétique. Autrement dit, le cas de la Chine illustrerait presque parfaitement une théorie de Malthus inversée : tandis qu'il voyait les ressources (dans le fond, le PIB) progresser de manière arithmétique et la population de manière géométrique, on voit le PIB chinois croître de manière que l'on pourrait presque dire géométrique, tandis que la population, elle, n'augmente que selon une suite arithmétique. Le rapport entre le supplément annuel de population et la population de 1960 tourne autour de 2 % (3 % de 1956 à 1965, 2 % de 1966 à 1977 et de 1981 à 1990, 1 % depuis 1991

Il en résulte que si la croissance démographique est l'une des données qui rendent indispensable la croissance économique (faute de quoi le PIB par habitant diminuerait), on ne voit pas en quoi celle-ci devrait de ce fait être exponentielle, puisque la croissance démographique ne l'est plus, non seulement en Chine, mais dans la plupart des pays qui ont opéré leur « transition démographique »¹⁷.

Si le taux de la croissance économique chinoise est nettement supérieur au taux de sa croissance démographique, c'est que la Chine est un pays émergent. Si la croissance n'est pas une condition suffisante du développement, elle en reste une condition nécessaire. Telle est sa deuxième raison d'être. Lorsque les besoins essentiels ne sont pas satisfaits dans une population, l'amélioration de son sort passe par une croissance qui est en quelque sorte une croissance de *rattrapage*. Il est aisé de comprendre que le rattrapage rend à la fois possibles et nécessaires des niveaux de taux de croissance qui ne le seront plus en régime de croisière. Qualifier d'exponentielle la croissance consiste alors à extrapoler sur la longue période ce que l'on constate en zoomant sur une période limitée au cours de laquelle le rattrapage a lieu.

Ce que la croissance doit au capitalisme

16 En 2019, selon l'Ined (Institut national d'études démographiques), le nombre d'enfants par femme est de 2,5 dans le monde (4,35 en Afrique, 2,02 en Amérique Latine, 1,75 en Amérique du nord, 2,13 en Asie, 1,61 en Europe, 2,34 en Océanie). Cf. <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/chiffres/tous-les-pays-du-monde/>

17 « Le passage d'un régime traditionnel où la fécondité et la mortalité sont élevées et s'équilibrent à peu près, à un régime où la natalité et la mortalité sont faibles et s'équilibrent également »¹⁷, selon la définition de l'Ined (Institut national d'études démographiques)

Il existe enfin une raison systémique à la croissance économique, notamment des pays capitalistes développés. Le système capitaliste exige que le PIB croisse indépendamment de la croissance démographique. Elle est stimulée par deux ressorts : la concurrence et la soif de profit.

La concurrence pousse les entreprises à réaliser des gains de productivité qui leur permettent de diminuer leurs coûts et d'aligner leurs prix sur ceux des concurrents ; elle les incite à l'innovation qui leur permet de se démarquer de la concurrence. Les deux stratégies impliquent des investissements qui font croître la production de machines ou développent des services correspondant à l'investissement immatériel (formation, publicité, ...).

La première stratégie conduit, à niveau de production égal, à supprimer des emplois. L'objectif du plein emploi nécessite alors que la production augmente, au-delà de la croissance de la population active. Dans ce système, la croissance 0 est synonyme de montée chronique du chômage.

La seconde stratégie est source d'importants gaspillages d'énergie et de matière première : suremballage, publicité, obsolescence programmée, etc.

Les deux stratégies réclament des moyens pour financer les investissements. Pour attirer les actionnaires, les entreprises doivent faire de la surenchère et leur promettre des taux de rémunération supérieurs à ceux de la concurrence. Les entreprises ne peuvent se contenter d'un niveau de profit suffisant ; c'est le taux de profit (rapport entre les dividendes et l'argent qu'ils ont placé) qui doit être maximisé. Cette exigence les pousse soit à licencier alors mêmes que les carnets de commande sont remplis, soit à élargir sans cesse leurs marchés.

Si la croissance avait une seule raison d'être exponentielle, il faudrait la chercher dans ce système qui semble avoir le goût de l'infini, tant les acteurs semblent ne jamais pouvoir être rassasiés. Mais on sait aussi que leur soif est vite rattrapée par la réalité, celle des crises, des cycles, qui ont tôt fait de stopper des croissances qu'on croyait exponentielles.

Conclusion générale

Une grande part de l'argumentation des tenants de la décroissance consiste à dénoncer la croissance parce que son caractère exponentiel la rendrait insoutenable. Et en effet, une croissance exponentielle ne serait pas soutenable longtemps : c'est bien précisément pourquoi, en toute rigueur, la croissance observée n'est pas exponentielle (sauf à considérer que la définition de la fonction exponentielle s'accommode du caractère provisoire).

D'ailleurs, comme nous l'avons vu, si la croissance a ses raisons d'être, elle aucune raison intrinsèque d'être exponentielle.

Si la croissance n'est pas exponentielle par essence, est-il donc raisonnable de condamner toute forme de croissance économique au nom d'un caractère qui ne lui est pas inhérent ?