Working Paper CREST, Université Paris-Dauphine (CGEMP), Université Paris 13 (CEPN)

Une révolution industrielle est-elle le produit de l'offre ou de la demande ?

David Flacher[1], Sylviane Gastaldo[2], Jean-Hervé Lorenzi[3], Alain Villemeur[4]

Résumé

Cet article propose un modèle de croissance distinguant les biens standard des biens intégrant les nouvelles techniques (BINT). Il montre l'existence de trois régimes de croissance et de trois conditions à l'avènement d'une révolution industrielle : un goût suffisant pour la diversité au sein des BINT, des préférences permettant au taux de consommation de BINT de dépasser un certain seuil et des gains de productivité suffisamment élevés dans la production des BINT.

[1] Université Paris 13, CEPN, 99 avenue Jean-Baptiste Clément 93430 Villetaneuse, Tel : 01 49 40 31 23, david@flacher.fr

[2] ENSAE, 3 avenue Pierre Larousse, 92 245 MALAKOFF Cedex, Tél : 01 41 17 51 55, Fax : 01 41 17 38 52, sylviane.gastaldo@ensae.fr

[3] Université Paris Dauphine, CREA, Place du Maréchal de Lattre de Tassigny 75775 Paris Cedex 16, Tel : 01 40 17 25 32, Fax : 01 40 17 24 26, j-h.lorenzi@lcfr.fr

[4] Université Paris Dauphine, CREA, Place du Maréchal de Lattre de Tassigny 75775 Paris Cedex 16, Tel : 01 69 05 76 86, Fax : 01 69 21 19 69, villemeur@orange.fr

Introduction

Le modèle développé dans cet article a pour objet d'étudier, à la suite d'un choc technique, l'influence des comportements de consommation et des gains de productivité sur l'adoption (ou non) d'un nouveau régime de croissance. Il tente ainsi d'expliquer l'existence et les conditions de ruptures dans les régimes de croissance que l'on a pu constater au cours des deux derniers siècles et que l'on a baptisé « révolutions industrielles ». Il s'inspire pour cela du modèle de Gastaldo & Ragot (2000) ainsi que des travaux de Flacher (2003), Villemeur (2004), Lorenzi et al. (1984) et Lorenzi (2002).

Cette problématique est d'autant plus fondamentale que les révolutions industrielles demeurent toujours objets de débats entre économistes. Ces débats portent sur les origines, le déroulement, l'ampleur ou la rapidité des transformations profondes qu'elles induisent ainsi que sur la nature spécifique de chacune d'entre elles.

Ils portent notamment sur le rôle respectif de l'offre et de la demande. C'est ainsi que de nombreux historiens soutiennent l'idée que les transformations des facteurs de l'offre sont non seulement essentiels mais également moteurs des mutations industrielles : le progrès technique (qui permet une substitution du capital au travail), le développement de nouvelles sources d'énergie ainsi que l'utilisation de matières premières nouvelles et plus abondantes sont ainsi considérés comme des causes premières de la première industrialisation selon Landes (2000). D'autres historiens-économistes, depuis Gilboy (1932), ont insisté en revanche sur le rôle moteur (ou, à défaut, bloquant) que pouvait jouer la demande.

Cependant, ce débat, notamment lorsqu'il porte sur l'impact de la structure de consommation des ménages, reste d'ampleur très limitée, non seulement chez les historiens, souvent focalisés sur l'offre (plus facilement mesurable), mais également chez les macroéconomistes. L'économie de l'offre, comme celle de la demande, ont en effet développé une analyse essentiellement focalisée sur des variables très agrégées. Or c'est justement pour tenir compte de la nature de la demande (à travers le type de biens consommés) et de l'offre (à travers la manière dont le progrès technique est incorporé aux processus de production) que nous avons construit notre modèle.

Dans la première section de l'article, nous revenons sur le débat « offre/demande » dans l'avènement des révolutions industrielles, en soulignant leurs limites dans l'interprétation des grandes ruptures économiques. Les sections suivantes présentent et discutent le modèle de croissance que nous avons construit. La deuxième section expose les hypothèses du modèle, inspirées des travaux de Gastaldo & Ragot (2000). Elle introduit notamment une formalisation des comportements de consommation. La troisième section présente les résultats qui découlent de cette modélisation. La quatrième section nous permet enfin d'examiner dans quelle mesure, à la suite d'un choc technique, la demande, et en l'occurrence les comportements de consommation, sont parties prenantes de la révolution industrielle, en la permettant, la freinant ou en l'empêchant. Cet examen nous permet de souligner la cohérence du modèle avec les connaissances historiques mais également de fournir une analyse du rôle possible des politiques publiques dans les phases de choc technique.

I. Le débat offre/demande dans l'avènement des révolutions industrielles

1.1 Dans l'histoire économique

L'histoire économique n'a offert qu'une place réduite à la demande (et notamment à la consommation) comme élément explicatif de l'avènement des ruptures majeures de croissance. Cette question a fait notamment l'objet d'un débat que Mokyr (1977) a synthétisé. Dans cet article important de 1977, Mokyr, défenseur du rôle primordial des facteurs de l'offre, s'est évertué à démonter la thèse qui, depuis Gilboy (1932), aurait voulu donner égale importance à la demande et à l'offre dans l'explication du démarrage de la révolution industrielle ou au fait que celle-ci est d'abord un phénomène anglais.

De fait, les débats entre historiens-économistes privilégient assez largement les facteurs de l'offre pour expliquer le « décollage » industriel (Verley, 1997 ; Clark, 2003, Crafts, 2005, Flacher, 2003) : progrès des techniques de production, nouvelles sources d'énergie, nouvelles matières premières (Landes, 2000), progrès agricole et disponibilité des facteurs de production (Bairoch, 1963), coïncidence essentielles de plusieurs facteurs de l'offre (Rostow, 1960), nouvelles formes d'organisation (Mendels, 1972), nouvelles institutions (North & Thomas, 1973 ; Jones, 2001)… Selon Mokyr, les facteurs de l'offre (notamment le progrès technique) constitueraient les déterminants essentiels de la croissance : comme Crafts (1985), il insiste sur le fait que l'accroissement de la taille du marché, sans progrès technique, ne peut conduire qu'à une baisse du revenu par tête, favorable avant tout à la consommation alimentaire et non aux produits industriels. Il tente ainsi de répondre à la thèse d'industrialisation par la consommation (thèse dite de la « pression créatrice ») de Boserup (1965) selon laquelle la dynamique démographique aurait joué un rôle moteur dans l'adoption de nouvelles techniques et donc dans le progrès économique qui a présidé à la révolution industrielle.

Dans une certaine mesure, le rôle de la consommation et celui de sa structuration font également débat. Ce débat porte sur l'ampleur de l'évolution des modes de consommation et sur l'évolution des prix relatifs (Clark et al., 1995 ; Horrell, 1996, Hudson, 1992, Mokyr, 1977), sur la « pression créatrice », énoncée par Boserup (1965) qu'exerceraient la croissance de la population et de la demande sur l'adoption du progrès technique (sous réserve d'un desserrement des contraintes nutritionnelles – Bairoch, 1963 ; Komlos & Artzrouni, 2003 – ou de gains suffisants de productivité et de modération démographique – Crafts, 2005), sur le rôle de la distribution des revenus (Verley, 1997 ; Voigtländer & Voth, 2005) ou sur celui de l'évolution des préférences des consommateurs en amont de la révolution industrielles (de Vries, 1993, 1994) ou pendant celle-ci (McKendrick et al., 1982, Brewer & Porter, 1993).

De plus, si Crafts comme Mokyr considèrent peu crédible l'entraînement par la demande de la révolution industrielle, ce dernier ne nie pas que la demande ait joué un rôle : celui consistant à déterminer la taille relative des secteurs de l'économie (les secteurs, dont les biens ont une élasticité-prix supérieure à un, jouant le rôle de « leading sectors » avant épuisement naturel de cette dynamique), celui de frein au changement lorsque des transformations brutales de comportement de consommation entraînent des coûts importants de réallocation des ressources ou encore celui de modification des termes de l'échange et donc de la distribution des revenus et des gains de l'échange.

Mais alors, si l'innovation et les changements techniques sont d'abord déterminés par la taille du marché (North, 1990), quel rôle jouent respectivement ce changement technique mais aussi l'évolution de la structure de consommation sur l'avènement des révolutions industrielles ? Comment ces variables peuvent-elles expliquer que, à la suite d'un même choc, certains pays connaissent une croissance supérieure à celle de pays comparables ?

Pendant la première révolution industrielle, par exemple, malgré une hausse de revenus, les ménages français ne consomment pas vraiment plus, ni différemment, ou du moins ces changements apparaissent limités au regard de situations comparables dans des pays plus avancés comme l'Angleterre (Lévy-Leboyer & Bourguignon, 1985). On imagine dès lors ce facteur comme un élément explicatif des différences de trajectoire de croissance entre ces deux pays. De même, l'évolution des structures de consommation semble jouer un rôle dans la deuxième industrialisation et dans la révolution qui est née de l'émergence des techniques de l'information et de la communication (TIC), en même temps que l'investissement dans la recherche et l'innovation contribue à créer les conditions de l'émergence de nouvelles formes de consommation.

Ainsi, l'historien Patrick Verley considère que les modes de consommation ont largement contribué à expliquer l'évolution de l'économie depuis des régimes de croissance « smithienne », consistant principalement en un développement des techniques et des types anciens d'organisation, vers des régimes de croissance « schumpétérienne », caractérisant la révolution industrielle par la généralisation des techniques nouvelles et des types nouveaux d'organisation (Verley, 1997).

1.2 Dans les modèles de croissance

Cette question du rôle de la structure de consommation sur la croissance n'est pas mieux prise en compte par les économistes de l'offre ou ceux de la demande, de même que, plus généralement, par la littérature sur la croissance.

Les articles fondamentaux sur la croissance se restreignent le plus souvent à l'utilisation d'une variable agrégée de consommation. Lorsque la variété des biens de consommation est modélisée, c'est le plus souvent la seule préférence pour la diversité qui est étudiée : les différentes variétés ont alors individuellement le même rôle (Spence, 1976 ; Grossmann & Helpman, 1991) et sont donc peu susceptibles de traduire l'émergence de catégories très singulières de biens qui participent de la caractérisation des révolutions industrielles. Certains modèles considèrent la nécessaire structuration des biens afin d'intégrer les différences de nature qui peut exister entre eux. Cependant, cette différenciation peut se limiter aux facteurs de production ou aux consommations intermédiaires nécessaires à la production (Hung, Chang & Blackburn, 1993).

Si quelques modèles de croissance s'appuient sur une différenciation dans la nature des biens de consommation, ils restent, à notre connaissance, peu nombreux et ne traitent pas, de manière générale, des problématiques spécifiques aux révolutions industrielles.

C'est notamment le cas du modèle de Gastaldo & Ragot (2000) qui s'inspirent des travaux de Grossmann & Helpman (1991) et de Hung, Chang & Blackburn (1993) pour intégrer une différenciation entre biens de consommation polluants et non polluants dans leur modèle de croissance. De même, s'il intègre deux catégories de biens de consommation sans tenir compte des questions de variété au sein de ces catégories, le modèle de Cheetham et al. (1974) fait figure d'exception puisqu'il traite plus spécifiquement de la première industrialisation. Il se révèle néanmoins inapplicable aux révolutions suivantes dans la mesure où la structure de consommation repose sur deux biens (les biens agricoles et les biens industriels) aux caractéristiques très particulières, ne permettant pas la généralisation du modèle à d'autres catégories de produits. Il n'en demeure pas moins que les résultats qu'ils obtiennent « justifient des recherches empiriques bien plus importantes sur les déterminants des comportements de consommation des ménages dans les économies en développement et en particulier des recherches historiques sur les ruptures dans les comportements de consommation tout au long du processus de croissance »[5].

Or c'est justement l'influence de la structure de consommation (qui différencie les biens selon qu'ils intègrent ou non les innovations, caractéristiques de la période) mais aussi de l'offre (à travers l'incorporation du progrès technique aux processus de production) que notre modèle envisage. Notre approche vise en effet à montrer que l'offre et la demande jouent l'une et l'autre un rôle majeur. Mais, il ne s'agit pas de n'importe quelle offre ou de n'importe quelle demande. Pour atteindre ce régime de croissance très spécifique qui est celui de la révolution industrielle, nous allons analyser dans quelle mesure doivent être introduites une demande de biens intégrant les innovations issues du choc technique et une offre mettant en œuvre des processus de production développant également des innovations, liées à ce choc technique. Cette double préoccupation apparaît garante d'une bonne compréhension de ce qui s'est déroulé à trois reprises au cours des deux derniers siècles.

II. Un modèle de croissance centré sur la structure de consommation

2.1 Les définitions

Pour Verley (1999), des biens[6] sont susceptibles de jouer un rôle moteur dans une révolution industrielle lorsqu'ils satisfont à un besoin majeur, ont une forte élasticité-prix, bénéficient de gains de productivité importants et durables, sont munis d'un fort contenu social et enfin bénéficient d'une diffusion facile (transport). Ces caractéristiques s'appliquent particulièrement bien au textile lors de la première industrialisation, à la voiture ou à l'électricité pendant la deuxième industrialisation, aux nombreux biens issus des technologies de l'information et de la communication (TIC) aujourd'hui, même si ces critères n'étaient pas toujours respectés au même moment et avec la même intensité dans les différents pays.

[5] Cheetham et al. (1974), p.259.

[6] Le terme « bien », dans toute la suite du texte, est employé pour désigner un bien et/ou service de consommation finale.

Dans notre modèle, nous distinguerons, dans cet esprit, deux types de biens de consommation finale : les biens « standards » (BS) et les biens « intégrant les nouvelles techniques » (BINT). Ces derniers se différencient des premiers par leur mode de production, qui bénéficie de gains de productivité supérieurs, par l'effort de recherche supérieur que le développement de leur variété suppose et enfin par le fort potentiel de développement dans le budget des ménages.

Les BINT peuvent donc comprendre, soit des biens radicalement nouveaux, soit des biens traditionnels produits avec de nouveaux procédés (comme le textile lors de la première industrialisation ou les baladeurs MP3 aujourd'hui).

Nous définissons un « choc technique » (exogène) par l'apparition de nouvelles techniques qui d'une part élargit la gamme des biens produits comme celle des biens consommés à un nouveau type de biens (les BINT) et d'autre part accroît la productivité du travail.

Notre modèle, qui a pour objectif d'étudier les trajectoires de croissance à la suite d'un choc technique, fait intervenir le progrès à trois niveaux : le progrès général des techniques de production, d'abord, qui conduit à l'amélioration de la productivité du travail, le développement de nouvelles variétés de biens de consommation issues de la recherche des entreprises, ensuite, et enfin la diffusion dans la consommation des BINT.

Nous définirons plus loin la notion de « révolution industrielle » qui intervient à la suite d'un choc technique.

2.2 Le comportement des consommateurs

La fonction d'utilité

Nous considérons un consommateur représentatif dont la fonction d'utilité intertemporelle s'écrit :

(1.1) $$U = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln\left(C_t\right) dt$$

où ρ désigne le taux de préférence pour le présent et C_t un indice de consommation (instantané), à élasticité de substitution constante, de type « Cobb-Douglas emboîté ».

(1.2) $$C = \left[\sum_{i=1}^{n_s} c_s\left(i\right)^{\alpha_s}\right]^{\frac{1-\theta}{\alpha_s}} \left[\sum_{j=1}^{n_n} c_n\left(j\right)^{\alpha_n}\right]^{\frac{\theta}{\alpha_n}}$$

où $c_s(i)$ désigne la consommation de la variété *i* de BS et $c_n(j)$ la consommation de la variété *j* de BINT. n_l, $l \in \{s,n\}$, représente le nombre de variétés[7] de chacune des catégories de biens. La spécification CES s'inspire directement de la formulation de Dixit-Stiglitz (1977). L'élasticité de substitution entre deux biens au sein d'une même catégorie $l \in \{s,n\}$ est alors $1/(1-\alpha_l)$, avec $\alpha_l \in]0,1[$[8]. $1/\alpha_l$ représente donc le goût pour la diversité au sein des biens $l \in \{s,n\}$[9].

Cette spécification implique aussi (cf. annexe 1) que $\theta \in [0,1]$ représente la part des BINT dans la structure de consommation ou « taux de consommation des BINT » (i.e. la part des dépenses consacrées aux BINT).

Pour alléger les notations, nous ne faisons pas apparaître l'indice *t* sur les équations.

Le programme d'optimisation du consommateur

Classiquement, le consommateur maximise dans un premier temps à chaque instant son utilité sous contrainte de revenu :

$$(1.3)\qquad \underset{c_s(.),c_v(.)}{Max}\ \ln\left[\left[\sum_{i=1}^{n_s} c_s(i)^{\alpha_s}\right]^{\frac{1-\theta}{\alpha_s}}\left[\sum_{j=1}^{n_n} c_n(j)^{\alpha_n}\right]^{\frac{\theta}{\alpha_n}}\right]$$

$$\text{sous la contrainte}\quad E=\sum_{i=1}^{n_s} p_s(i)c_s(i)+\sum_{j=1}^{n_n} p_n(j)c_n(j)$$

E désigne le revenu (instantané) des consommateurs et $p_l(i)$ le prix de la $i^{\text{ème}}$ variété des biens de type $l \in \{s,n\}$.

En posant $\theta_s = 1-\theta$ et $\theta_n = \theta$, nous obtenons les fonctions de consommation instantanées suivantes, pour $l \in \{s,n\}$ et $k \in \{1..n_l\}$ (cf. annexe 1) :

---

[7] Pour le moment, dans un souci de simplification, on considère que les nombres de ces variétés sont des entiers ; autrement dit, n_s et n_n sont des variables discrètes.

[8] Plus α_l s'élève, plus les biens au sein de la catégorie $l \in \{s,n\}$ sont de bons substituts du point de vue de la consommation. Dans le cas limite où $\alpha_l = 1$, les biens sont parfaitement substituables.

[9] Plus α_l diminue et plus la diversité au sein des biens $l \in \{s,n\}$ est source d'utilité pour le consommateur, les biens en question étant moins substituables entre eux.

(1.4) $$c_l\left(k\right)=\frac{\theta_l E\left[p_l\left(k\right)\right]^{-\frac{1}{1-\alpha_l}}}{\sum_{i=1}^{n_l} p_l\left(i\right)^{1-\frac{1}{1-\alpha_l}}}$$

Le consommateur maximise ensuite sa fonction d'utilité intertemporelle sous la contrainte de budget intertemporelle :

(1.5) $$\underset{C(.)}{Max} \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln\left(C_t\right) dt$$

$$\text{sous la contrainte} \quad \dot{a}_t = w_t + r_t a_t - E_t$$

où a_t désigne l'épargne accumulée, r_t le taux d'intérêt et w_t le salaire. La résolution de cette optimisation nous donne (cf. annexe 1) :

(1.6) $$\frac{\dot{E}}{E}=r-\rho$$

Les préférences des consommateurs : exogènes ou endogènes ?

Dans notre modèle, le goût pour la diversité ($\alpha_l, l \in \{s,n\}$) sera supposé exogène. La préférence des consommateurs pour les BINT (θ) sera, elle, supposée exogène dans un premier temps et endogène dans un second. Le premier temps nous permettra de dégager le rôle des consommateurs sur l'adoption de régimes de croissance alors que le second permettra d'analyser l'existence d'équilibres stationnaires, compte tenu du comportement des consommateurs.

Comment modéliser le comportement du consommateur face au développement de nouvelles techniques et de nouveaux biens ? Le développement des BINT se caractérise, quelles que soient les époques, par des effets de modes et de démonstration associés à leur consommation et par l'extension, relativement lente, des nouveaux besoins associés ces nouvelles techniques. Si les effets de mode touchent habituellement la catégorie de population la plus aisée, leur extension est en général freinée par plusieurs facteurs. Ces facteurs peuvent être liés à des contraintes légales (les lois ont longtemps interdits, avec un succès très relatif, le port des indiennes en Europe – Verley, 1997), à des habitudes de consommation qui évoluent sur longue période, résistant ainsi au changement que propose l'innovation (Braudel, 1979, parle du temps long qui caractérise l'évolution des « structures du quotidien »). Enfin, au-delà de ces résistances qui caractérisent toutes les périodes de révolution industrielle, la consommation de produits intégrant les techniques les plus modernes appelle aussi un certain niveau de capital humain pour les utiliser et donc un coût d'adoption (cf. le coût d'apprentissage que nécessite l'usage d'un ordinateur, par exemple).

Dans notre modèle, nous introduisons cette « résistance » ou « ce coût d'adoption » en supposant qu'un effet de saturation apparaît lorsque le nombre de variétés de BINT se met à croître et à mesure que le stock de ces BINT (noté N) se développe dans l'économie. Suite à une augmentation du stock de BINT, les agents modifient leur choix de consommation, en diminuant le taux de consommation des BINT (θ). Une façon de formaliser cette décroissance tout en respectant la contrainte $\theta \in [0,1]$ est de supposer que :

$$\theta = \min\left\{\frac{L}{kN}, 1\right\} \quad k > 0 \tag{1.7}$$

où L désigne l'offre de travail et où *k*, paramètre de saturation, représente le « coût d'adoption » des BINT ou la « résistance » d'un consommateur à l'adoption des BINT. Cette spécification permet une résolution explicite, mais on peut montrer que les résultats suivants restent vrais pour toute fonction décroissante en *N*.

En notant F_t le flux de BINT à un instant *t* et $\delta \in]0,1]$ le taux de dépréciation du stock de BINT, nous obtenons :

$$\dot{N}_t = F_t - \delta N_t \text{ où } F = \sum_{k=1}^{n_n} c_n(k) \tag{1.8}$$

Il apparaît alors que les choix de consommation dépendront fortement du coût d'adoption ou de la résistance à l'innovation qui caractérise ce pays.

2.3 Le comportement des producteurs

Dans notre modèle, les producteurs ont deux types d'activités : une activité de recherche conduisant au développement de nouvelles variétés de biens de consommation et une activité de production de ces variétés, chaque producteur ne produisant que les variétés qu'il a développé. Cette dernière hypothèse peut se justifier par des coûts élevés d'imitation et/ou par l'existence d'un système de brevets dont il est reconnu qu'il a joué un rôle important dès la première révolution industrielle (North, 1990). La première des deux justifications s'applique particulièrement bien à la révolution industrielle récente alors que la seconde caractérise davantage (mais pas uniquement) la première industrialisation ; en effet, les problèmes de compétences techniques (des inventeurs comme des ouvriers qualifiés) freinaient alors les possibilités d'imitation.

La production des biens

La technologie de production utilisée, fondée sur le seul facteur travail et supposée à rendements d'échelle constants, diffère selon la catégorie de biens. Soient y_s et y_n la productivité du travail, respectivement dans le secteur des BS et des BINT.

Le coût variable unitaire de production dans un secteur est donc égale à ω / y_l, ω étant le taux de rémunération du travail, commun à l'ensemble de l'économie. Chaque entreprise étant en situation de monopole sur les variétés de biens qu'elle a développé, le programme de maximisation du profit mis en œuvre par le producteur s'écrit :

(1.9) $$\pi_l(k) = \underset{p_l(k)}{Max}\left(p_l(k) - \frac{\omega}{y_l}\right)x_l\left(p_l(k)\right)$$

où $x_l\left(p_l(k)\right)$ désigne la quantité de bien k de type $l \in \{s, n\}$ vendue au prix $p_l(k)$.

Les producteurs déterminent ainsi le prix des variétés en prenant comme données, à l'équilibre, les fonctions de consommation (demande) des consommateurs (1.4) : nous devons en effet avoir, à l'équilibre : $x_l\left(p_l(k)\right) = c_l(k), (l,k) \in \{s,n\} \times [1...n_l]$.

La résolution du programme (cf. annexe 1) donne le prix de chaque bien $p_l(k)$, ainsi que les valeurs de $x_l(k)$ et $\pi_l(k)$ qui en résultent. Soit pour $l = s, n$:

(1.10) $$p_l(k) = \frac{\omega}{\alpha_l y_l}$$

(1.11) $$c_l(k) = x_l(k) = \frac{\theta_l \alpha_l y_l}{n_l \omega} E$$

(1.12) $$\pi_l(k) = \frac{\theta_l(1-\alpha_l)}{n_l} E$$

Dans la suite, nous considérons le taux de rémunération du travail comme numéraire, soit $\omega = 1$.

Nous pouvons alors déduire des relations (1.2) et (1.11) le taux de croissance de l'indice de consommation (g), que nous appelons désormais « taux de croissance de la consommation » [10] :

(1.13) $$g = \frac{\dot{C}}{C} = (1-\theta)\left(\frac{1-\alpha_s}{\alpha_s}\right)\gamma_s + \theta\left(\frac{1-\alpha_n}{\alpha_n}\right)\gamma_n + \frac{\dot{E}}{E}$$

[10] Désormais, les nombres de variétés sont considérés comme des variables continues.

où $\gamma_l = \dfrac{\dot{n}_l}{n_l}$ désigne le taux de croissance du nombre de variétés de biens $l \in \{s, n\}$.

Nous pouvons également déduire des relations (1.8) et (1.11) le flux et le stock de BINT :

$$F = \theta \alpha_n y_n E$$

(1.14) $$\dot{N} = F - \delta N = \theta \alpha_n y_n E - \delta N$$

Lorsque le revenu E est constant, nous obtenons :

$$N_t = \frac{\alpha_n}{\delta} y_n \theta\, E + K e^{-\delta\, t} \text{ avec } K = N_0 - \frac{\alpha_n}{\delta} y_n \theta \;\; E \text{ et } \lim_{t \to +\infty} N_t = N^* = \frac{\alpha_n}{\delta} y_n \theta\, E$$

La recherche de nouvelles variétés

Nous supposons que les travaux de recherche et développement (R&D), et notamment ceux conduisant au développement de nouvelles variétés, sont à rendements croissants. Nous admettons en effet que le développement d'une nouvelle variété de bien est de moins en moins coûteux à mesure que les techniques qui permettent sa production sont assimilées, c'est-à-dire à mesure que le nombre de variétés produites augmente. Ceci est cohérent avec le caractère de bien public du stock de connaissances relatif à une gamme de biens. Nous considérons ainsi que le développement d'une nouvelle variété suppose un effort de recherche (en nombre de travailleurs) $c_l = b_l / n_l$, décroissant avec n_l, où $b_l > 0$. L'accroissement du nombre de variétés en résulte :

(1.15) $$\dot{n}_l = \frac{L_l n_l}{b_l}$$

où L_l est la quantité de facteur travail consacrée à la recherche de biens $l \in \{s, n\}$.

Un producteur se lance dans le développement d'une nouvelle variété de bien l si et seulement si le coût unitaire de R&D (c_l) est couvert par la valeur actualisée des flux des profits futurs (v_l), la firme détentrice du brevet (pour une période infinie) étant seule à produire la variété en question, soit :

$$\dot{n}_l > 0 \quad \Leftrightarrow \quad \underbrace{c_l}_{\frac{b_l}{n_l}} = \underbrace{v_l}_{\int_{\tau=t}^{\infty} \pi_l(\tau) e^{-r(\tau-t)} d\tau}$$

$$\dot{n}_l = 0 \quad \Leftrightarrow \quad c_l > v_l$$

En dérivant v_l par rapport au temps à l'aide de la règle de Leibnitz, nous obtenons :

$$\frac{\pi_l}{v_l} + \frac{\dot{v}_l}{v_l} = r$$

Lorsque la recherche est active dans le secteur l ($\dot{n}_l > 0$), on obtient :

(1.16)
$$\frac{\pi_l}{c_l} + \frac{\dot{c}_l}{c_l} = r$$

En utilisant l'équation (1.16) et en reprenant l'expression du profit à l'équilibre (1.12), nous obtenons le nombre de variétés (n_l) puis, en le dérivant, nous en déduisons son taux de croissance. Nous l'appellerons « taux d'innovation » dans les biens l.

(1.17)
$$\gamma_l = \frac{\dot{n}_l}{n_l} = \frac{(1-\alpha_l)\theta_l}{b_l} E - r$$

En définitive, lorsque la recherche dans le(s) secteur(s) $l \in \{s, n\}$ est active, le taux de croissance du revenu peut s'écrire, à partir des relations (1.6) et (1.17) :

(1.18)
$$\frac{\dot{E}}{E} = \frac{(1-\alpha_l)\theta_l}{b_l} E - \gamma_l - \rho$$

2.4 Le marché du travail

Nous supposons l'absence d'évolution démographique. L'offre totale de travail L est constante. Cette offre de travail répond aux demandes de travail des secteurs de production, d'une part, et de recherche, d'autre part. D'après les relations (1.11), (1.15) et (1.17), ces demandes s'écrivent respectivement :

$$\frac{1}{y_l}\int_0^{n_l} x_l(i)di = \alpha_l \theta_l E \qquad L_l = \frac{b_l \dot{n}_l}{n_l} = b_l \gamma_l$$

A l'équilibre sur le marché du travail, nous avons donc :

(1.19)
$$L = \alpha_s (1-\theta) E + \alpha_n \theta E + b_s \gamma_s + b_n \gamma_n$$

Au final, le modèle peut être résumé par la Figure 1 :

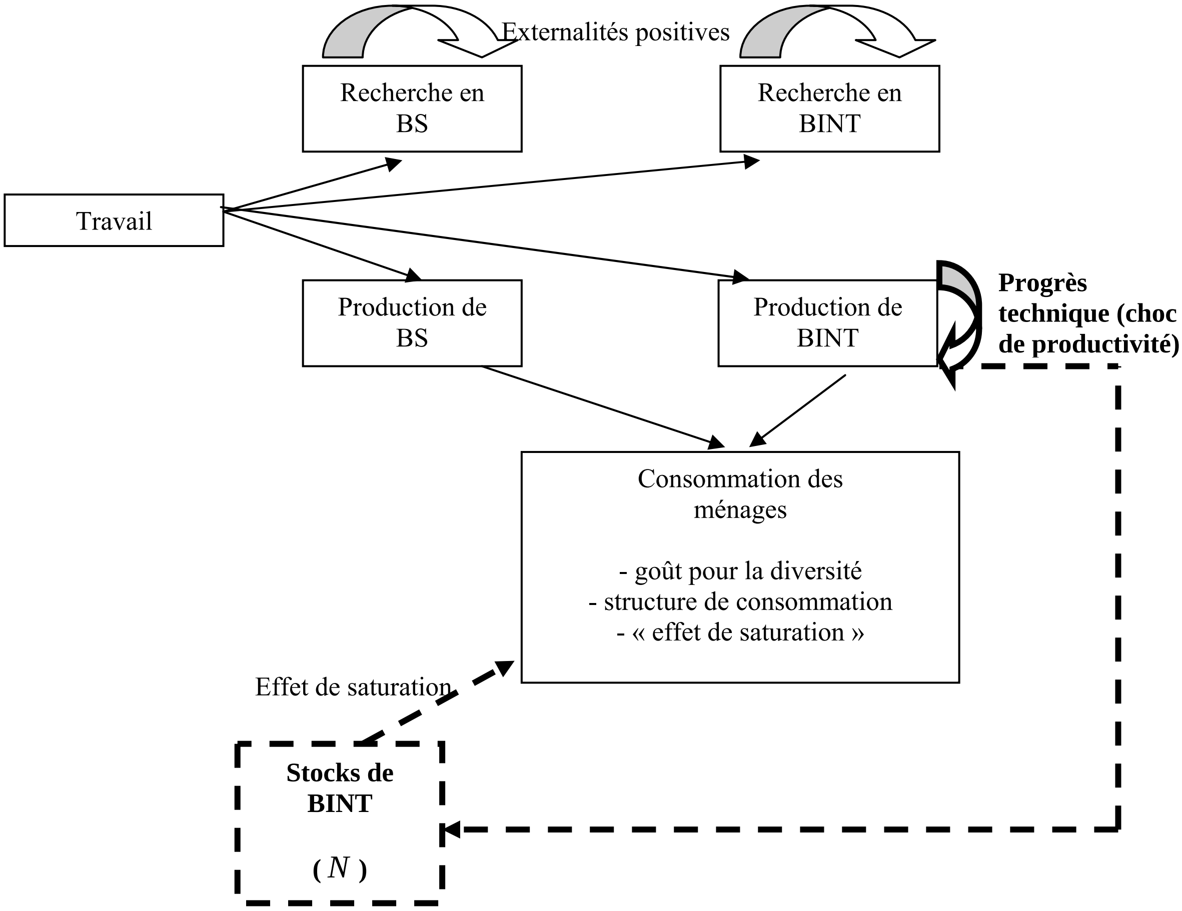

Figure 1 – Représentation schématique du modèle

III. Les régimes de croissance et la structure de consommation

Dans cette section, nous commençons par montrer l'existence de trois régimes de croissance lorsque les préférences des consommateurs pour les BINT sont exogènes. Nous présentons ensuite ces trois régimes. Nous comparons, dans un troisième temps, leurs performances respectives pour définir le régime de « révolution industrielle ». Nous caractérisons enfin les équilibres de long terme au sein de ces régimes lorsque les préférences des consommateurs sont endogènes.

3.1 L'existence de trois régimes de croissance

L'évolution dynamique de l'économie est décrite par les équations différentielles caractérisant l'activité de recherche dans les deux secteurs (1.18) et par la condition d'équilibre sur le marché du travail (1.19).

A quelle condition la recherche est-elle active dans le secteur des biens $l \in \{s, n\}$?

Nous montrons dans l'annexe 1 que le modèle permet de mettre en évidence trois régimes de croissance, c'est-à-dire trois plages du taux de consommation des BINT (θ), induisant des comportements différents en matière de recherche (Tableau 1). Nous les appellerons les régimes respectivement de « stagnation industrielle », de « démarrage industriel » et d'« évolution industrielle ».

Valeur de θ	**Activité de R&D**
$0 \leq \theta \leq \theta_{\min} = \dfrac{\rho b_n}{(1-\alpha_n)(L+\rho b_s+\rho b_n)}$	Seule la recherche dans le secteur de BS est active, la recherche dans l'autre secteur n'étant pas profitable.
$\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max} = 1 - \dfrac{\rho b_s}{(1-\alpha_s)(L+\rho b_s+\rho b_n)}$	La recherche dans les deux secteurs est active, la recherche dans le secteur des BINT étant devenue profitable. Les deux types de biens coexistent dans l'économie.
$\theta_{\max} \leq \theta \leq 1$	Seule la recherche dans le secteur des BINT est active, la recherche dans l'autre secteur n'étant pas profitable.

Tableau 1 – Les trois régimes de croissance et l'activité de recherche

Il faut donc que le taux de consommation des BINT dépasse le seuil $\theta_{\min}$ pour que le taux d'innovation dans cette catégorie de biens devienne positif ; $\theta_{\min}$ est ainsi le seuil de développement de l'innovation en BINT. Au-delà d'un second seuil ($\theta_{\max}$), le taux d'innovation dans les BS s'annule ; $\theta_{\max}$ est ainsi le seuil de renoncement à l'innovation en BS. La description de l'évolution des taux d'innovation dans les deux catégories de biens est donnée dans le Tableau 2.

	$0 \leq \theta \leq \theta_{\min}$	$\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$	$\theta_{\max} \leq \theta \leq 1$
	Régime de stagnation industrielle	Régime de démarrage industriel	Régime d'évolution industrielle
$\gamma_s = \dot{n}_s / n_s$			=0
$\gamma_n = \dot{n}_n / n_n$	=0		

Tableau 2 –Taux d'innovation en fonction du taux de consommation des BINT

Dans les sections suivantes, nous analysons en détails les performances de ces trois régimes.

3.2 Description des trois régimes de croissance

Le régime de stagnation industrielle

Dans le régime de stagnation industrielle la production répond à la demande des consommateurs en développant les variétés de BS (taux d'innovation positif dans les BS et nul dans les BINT). Remarquons que les BINT existent dans ce régime. En effet, à l'image de ce que l'on peut constater dans les différentes révolutions industrielles, certains biens nouveaux émergent en amont du choc technique mais ne parviennent pas à se développer.

En réécrivant (1.13), en utilisant (1.18) et (1.19) pour le secteur des BS, nous déduisons le taux de croissance de la consommation :

(1.20) $$g=(1-\theta)\frac{(1-\alpha_s)}{\alpha_s}\left[\frac{(1-\alpha_s)(1-\theta)}{1-(1-\alpha_n)\theta}\frac{L}{b_s}-\frac{\alpha_s(1-\theta)+\alpha_n\theta}{1-(1-\alpha_n)\theta}\rho\right]\quad \theta\in[0,\theta_{\min}]$$

θ	0 $\quad\longrightarrow\quad$ $\theta_{\min}$
g	$\searrow$

g étant décroissante en θ, il existe un « paradoxe de l'innovation » ou « paradoxe de l'innovation des régimes économiques de transition » : un moindre taux de consommation des BINT (θ) se traduit par une augmentation plus rapide de la consommation et donc de l'utilité des consommateurs. La décroissance du taux de consommation de BINT rend en effet l'innovation dans les BS plus attractive. Le taux d'innovation augmente dans ces variétés alors que le taux d'innovation dans les BINT reste nul. Du point de vue de l'utilité des consommateurs, l'effet positif de l'accroissement de la gamme des BS l'emporte sur les effets négatifs liés à la baisse du revenu (E) et aux moindres dépenses dans les deux types de biens qui caractérise ce régime lorsque θ décroît. Ce régime apparaît donc défavorable à l'adoption des BINT.

Le régime d'évolution industrielle

Dans le régime d'évolution industrielle, la production répond à la demande des consommateurs en développant les seules variétés de BINT (taux d'innovation positif pour les BINT et nul pour les BS). Notons que les BS continuent à exister dans ce régime, même si aucune variété nouvelle n'est créée. Ce nouveau régime traduit la substitution du nouveau système technique (issu du choc technique) au système antérieur. Cette situation nous conduit à qualifier la croissance d'« évolution industrielle».

Le taux de croissance de la consommation vaut :

(1.21) $$g=\frac{(1-\alpha_n)}{\alpha_n}\theta\left[\frac{(1-\alpha_n)\theta}{1-(1-\alpha_s)(1-\theta)}\frac{L}{b_n}-\frac{\alpha_s(1-\theta)+\alpha_n\theta}{1-(1-\alpha_s)(1-\theta)}\rho\right]\qquad \theta\in[\theta_{\max},1]$$

θ	$\theta_{\max}$	1
g	$\nearrow$	

g étant croissante en θ, il n'y a plus de « paradoxe de l'innovation » puisque le développement du taux de consommation de BINT s'accompagne d'une croissance accélérée de l'utilité des consommateurs. Il est néanmoins intéressant de noter que, dans ce régime, le revenu (E) des consommateurs est décroissant. Cependant, du point de vue de l'utilité, cette décroissance du revenu est compensée par une forte croissance du nombre de variétés des BINT (que l'on pourrait assimiler à un effet « variété-qualité »). Ce régime apparaît donc favorable à l'adoption des BINT.

Lorsque les valeurs de g dans ce régime de croissance sont supérieures à celles atteintes sur les autres régimes (autrement dit, lorsque le régime d'évolution industrielle est plus performant que les autres régimes en termes de croissance de l'utilité des consommateurs), nous parlerons de « révolution industrielle ». Nous verrons plus loin les conditions faisant du régime d'évolution industrielle celui d'une révolution industrielle.

Le régime de démarrage industriel

Dans le régime de démarrage industriel[11], la production répond à la demande des consommateurs en développant les variétés de BS et de BINT (taux d'innovation positif pour ces deux catégories). Ce régime constitue une situation intermédiaire entre les régimes de stagnation industrielle et d'évolution industrielle.

Dans ce régime, le taux de croissance de la consommation vaut :

[11] Ce régime existe si et seulement si $\theta_{\min}<\theta_{\max}$. Cette situation apparaît être la plus réaliste. En effet, dans le cas contraire, il n'y a plus aucune innovation sur la plage $[\theta_{\max},\theta_{\min}]$. La condition d'existence du régime de démarrage industriel équivaut à une préférence pour le présent pas trop élevée ($\rho\le L\Big/\left[\frac{\alpha_s}{1-\alpha_s}b_s+\frac{\alpha_n}{1-\alpha_n}b_n\right]$), faute de quoi la recherche dans les BINT ne se déclenche pas. Elle équivaut aussi à une taille de l'économie et donc du marché suffisamment importante.

$$(1.22)\begin{cases} g=(1-\theta)\left(\dfrac{1-\alpha_s}{\alpha_s}\right)\left[\dfrac{(1-\alpha_s)(1-\theta)}{b_s}\left(L+\rho b_s+\rho b_n\right)-\rho\right]+\theta\dfrac{(1-\alpha_n)}{\alpha_n}\left[\dfrac{(1-\alpha_n)\theta}{b_n}\left(L+\rho b_s+\rho b_n\right)-\rho\right] \\ \theta\in\left]\theta_{\min},\theta_{\max}\right[\end{cases}$$

En posant $\theta_m=\left[\dfrac{\rho}{2\left[L+\rho b_s+\rho b_n\right]}\left[\dfrac{1}{\alpha_n}-\dfrac{1}{\alpha_s}\right]+\dfrac{(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s}\right]\Big/\left[\dfrac{(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s}+\dfrac{(1-\alpha_n)^2}{\alpha_n b_n}\right]$, le Tableau 3 décrit le sens de variation de g.

θ	$\theta_{\min}$	θ_m	$\theta_{\max}$
g (si $\theta_m\le\theta_{\min.}$)		$\nearrow$	
g (si $\theta_{\min}<\theta_m<\theta_{\max}$)	$\searrow$		$\nearrow$
g (si $\theta_{\max}\le\theta_{m.}$)		$\searrow$	

Tableau 3 –Taux de croissance de la consommation en régime de démarrage industriel

Ainsi, si $\theta_m\in\left]\theta_{\min},\theta_{\max}\right[$, nous retrouvons une situation de « paradoxe de l'innovation » jusqu'à θ_m : du point de vue de l'utilité, l'affaiblissement du taux de consommation de BS et la décroissance du taux d'innovation dans cette catégorie de biens l'emporte sur l'accroissement du taux de consommation de BINT et du taux d'innovation dans les BINT. Ainsi, la croissance de l'utilité ralentit lorsque θ augmente et la situation s'inverse au-delà de θ_m. Notons que dans le cas où $\theta_m\in\left[0,\theta_{\min}\right]$, il n'y a pas de paradoxe de l'innovation alors qu'il est permanent si $\theta_{\max}\le\theta_{m.}$. Le régime de démarrage industriel apparaît donc favorable ou défavorable à l'adoption des BINT selon la valeur des paramètres et de θ.

3.3 Le régime de la révolution industrielle

Nous dirons qu'un régime de croissance est « systématiquement le plus performant » (ou « meilleur ») lorsque tous les sentiers de ce régime sont caractérisés par un taux de croissance de la consommation supérieur à celui de n'importe quel sentier des autres régimes, toutes choses étant égales par ailleurs. Autrement dit, la croissance la moins favorable d'un régime est préférable à la croissance la plus favorable des autres régimes.

L'un des trois régimes de croissance précédents est-il meilleur que les deux autres ? Pour répondre à cette question, remarquons au préalable que le régime de démarrage industriel ne peut pas être systématiquement le plus performant[12]. D'après les sens de variation de g mis en évidence dans les sections précédentes, le meilleur régime de croissance est celui d'évolution industrielle si et seulement si $g(\theta_{\max}) \geq g(0)$. Dans ce cas, nous l'appelons le régime de « révolution industrielle ».

Nous démontrons (cf. annexe 1) que cette condition équivaut à un goût du consommateur pour la diversité au sein des BINT suffisamment élevé (par rapport à celui au sein des BS) :

$$\exists \alpha_{\max} < \alpha_s \ \ tel \ \ que \ \ \forall \alpha_n < \alpha_{\max} \ \ \forall \theta \in [\theta_{\max}, 1] \ \ \forall \theta' \in [0, \theta_{\max}] \ \ g(\theta) > g(\theta')$$

Autrement dit, le régime d'évolution industrielle est le meilleur lorsque $\alpha_n < \alpha_{\max}$ (Figure 2). Le régime d'évolution industrielle est alors aussi celui d'une « révolution industrielle ». On considèrera désormais, sauf précision contraire, que cette condition est satisfaite.

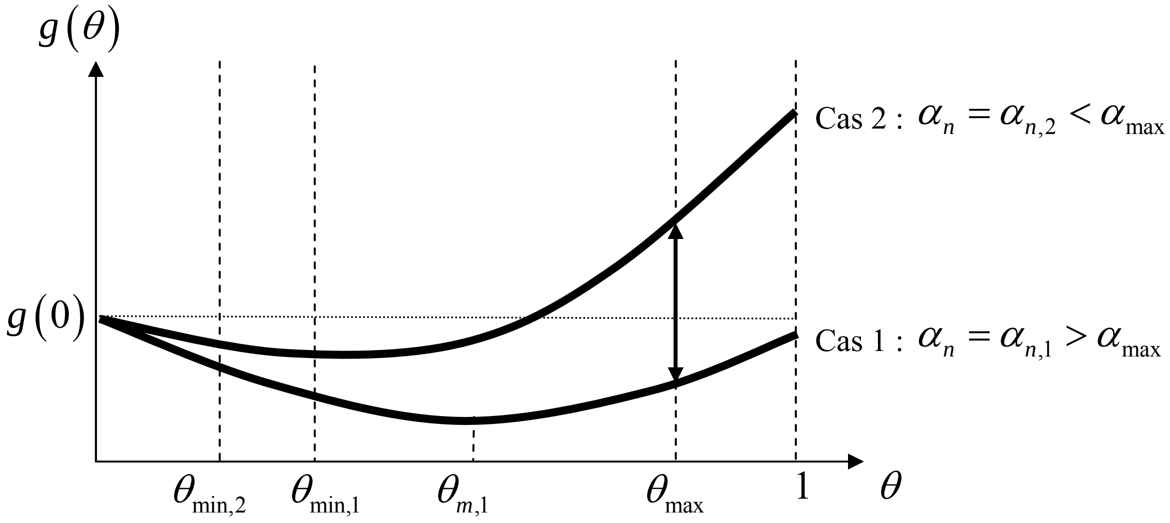

Figure 2 – Evolution stylisée du taux de croissance de la consommation (g) en fonction du goût pour la diversité des consommateurs envers les BINT

3.4 Les équilibres endogènes de long terme

Nous allons maintenant tenir compte de l'effet d'un choix endogène du consommateur sur les équilibres de long terme. Le taux θ de consommation des BINT est dorénavant déterminé par le niveau du stock de BINT (1.7). Cette partie propose de caractériser en fonction de la valeur du paramètre de saturation (k) le régime vers lequel l'économie se stabilise à long terme.

[12] En effet, g est continue et décroissante sur $[0, \theta_{\min}]$.

La dynamique de l'économie est caractérisée par un système d'équations différentielles à deux variables *E* et *N*, obtenu à partir des relations (1.18), (1.19) et (1.14). Nous étudions alors les différents attracteurs (équilibres) du système dynamique. Dans l'annexe 2, on démontre l'existence d'un unique équilibre stable (le long d'un sentier-selle) respectivement dans les régimes de démarrage industriel et de révolution industrielle. Cet équilibre, encore appelé « équilibre endogène de long terme », se situe dans le régime de démarrage industriel ou dans le régime de révolution industrielle selon la valeur de k (Tableau 4).

En posant : $k^* = \dfrac{\delta\, L}{\alpha_n y_n (L + \rho b_s + \rho b_n)}$, $k_1 = k^* \dfrac{L + \rho b_s + \rho b_n}{L + \rho b_n}$, $k_2 = \dfrac{k^*}{\theta_{\max}^2}$ et $k_3 = \dfrac{k^*}{\theta_{\min}^2}$

où $k_1 < k_2 < k_3$, nous obtenons le Tableau 4.

Régime de croissance	Niveau du coût d'adoption	Taux θ^* de consommation en BINT
Régime de révolution industrielle	$k \in \left]0, k_1\right]$	1
	$k \in \left]k_1, k_2\right]$	$\dfrac{\delta(1-\alpha_s)L}{2\alpha_n y_n (L + \rho b_n)k}\left[1 + \sqrt{1 + \dfrac{4\alpha_s \alpha_n y_n (L + \rho b_n)k}{\delta(1-\alpha_s)^2 L}}\right]$
Régime de démarrage industriel	$k \in \left]k_2, k_3\right[$	$\sqrt{\delta\, L / \alpha_n y_n k (L + \rho b_s + \rho b_n)}$

Tableau 4 - Attracteurs du modèle de croissance

Plus le coût d'adoption des BINT (*k*) est faible, plus le taux de consommation des BINT à l'équilibre (θ^*) est élevé.

Si $k \le k_1$, l'économie se situe dans un régime extrême dans lequel il y a non seulement révolution industrielle mais aussi abandon de la consommation des BS : tous les biens de l'économie intègrent les nouvelles techniques.

Si $k \in \left]k_1, k_2\right]$, la révolution industrielle a lieu dans une économie où les BS coexistent avec les BINT. Le diagramme de phase (Figure 3) illustre alors l'existence d'un équilibre stable le long d'une trajectoire-selle[13].

Si le stock de BINT initial est faible (ce qui est vraisemblable si le régime de démarrage industriel est atteint rapidement après le choc technique), on note que l'évolution de l'économie se fait avec un revenu des consommateurs stable puis croissant, le taux de croissance de la consommation étant cependant décroissant.

[13] Tous les diagrammes de phase n'ont pas été représentés dans un souci de simplification. Des équilibres stables selon une trajectoire-selle existent dans tous les cas où $k < k_3$.

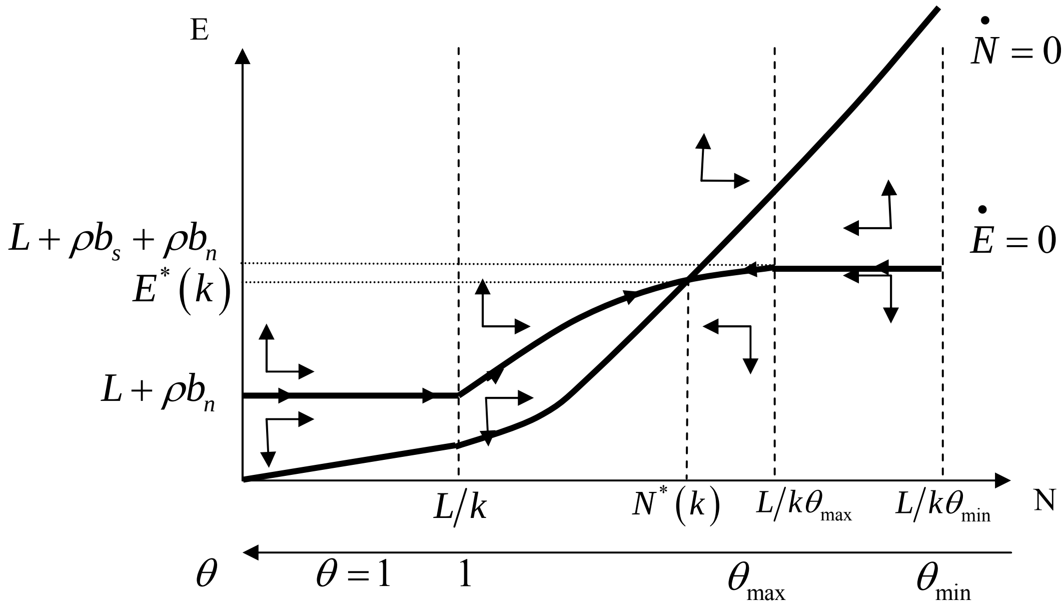

Figure 3 – Diagramme de phase du système dynamique pour $k \in \left]k_1, k_2\right]$

Si $k \in \left]k_2, k_3\right[$, le coût d'adoption des BINT est trop élevé pour que puisse être atteint le régime de révolution industrielle. Enfin, si $k \geq k_3$, il n'existe pas d'équilibre au sein des régimes de démarrage industriel et de révolution industrielle. En effet, la manifestation de l'effet de saturation, dès que le taux de consommation des BINT s'élève, empêche tout équilibre stable pour $\theta \geq \theta_{\min}$. Si $\theta < \theta_{\min}$, l'équilibre, au sein du régime de stagnation industrielle, n'est alors plus déterminé par l'effet de saturation. L'endogénéisation des préférences du consommateur ne permet donc pas, dans ce cas, de déterminer un équilibre.

Ainsi, lorsque *k* n'est pas trop élevé, l'endogénéisation des préférences permet de définir à la fois le régime de croissance atteint mais également l'équilibre stable le long d'une trajectoire-selle au sein de ce régime.

IV. Le rôle déterminant de la demande dans les révolutions industrielles

4.1 Rôles de l'offre et de la demande dans les révolutions industrielles

La demande : un élément déterminant de la révolution industrielle

Dans ce modèle, le seul facteur de production étant le travail, la demande se confond avec la consommation. De fait, le modèle nous a permis de montrer que, à la suite d'un choc technique, cette consommation jouait un rôle essentiel dans l'avènement des révolutions industrielles pour au moins deux raisons.

D'une part, la structure de consommation détermine le régime dans lequel se trouve l'économie car elle influence les comportements des producteurs face à l'innovation : une structure de consommation riche en BINT les incite à développer une production toujours plus diversifiée, permettant ainsi la diffusion du progrès technique. L'inclinaison des consommateurs pour les BINT est notamment liée, lorsque les préférences sont endogènes, au « coût d'adoption » de ces biens ou à la « résistance » du consommateur à leur adoption (k). Ce paramètre joue un rôle capital dans l'avènement des révolutions industrielles puisqu'une résistance trop forte au changement ou une difficulté liée à l'adoption des BINT peut bloquer la révolution industrielle. Les pouvoirs publics peuvent influer sur ce paramètre par l'éducation et l'information des consommateurs.

D'autre part, la nature de la demande joue un rôle essentiel dans l'existence même du régime de révolution industrielle. En effet, les révolutions industrielles se caractérisent à la fois par la diffusion du progrès technique, dans la consommation comme dans la production, ainsi que par une croissance économique plus rapide que dans les régimes de croissance antérieurs. Or, pour que le régime de croissance le plus riche en BINT soit aussi le meilleur des régimes de croissance dans notre modèle, il faut et il suffit que le goût pour la diversité des consommateurs au sein des BINT soit suffisamment plus important que celui au sein des BS.

L'offre : les gains de productivité de nature à favoriser la transition vers la révolution industrielle

Nous avons mis en évidence dans les sections précédentes l'existence du paradoxe de l'innovation dans certains régimes de croissance, rendant l'adoption des BINT défavorable à l'accroissement de l'utilité des consommateurs. Ce paradoxe peut être de nature à empêcher l'atteinte du meilleur régime de croissance, celui de la révolution industrielle. Il peut même justifier une régression de la part des BINT dans la consommation.

Cette situation existe dans le régime de stagnation industrielle, quelles que soient les valeurs des paramètres $(L, \alpha_s, b_s, \alpha_n, b_n, \rho)$, mais également dans le régime de démarrage industriel si les valeurs des paramètres du modèles sont telles que $\theta_m > \theta_{\min}$. Est-il néanmoins possible de trouver d'autres éléments, exogènes, permettant de faire disparaître le paradoxe de l'innovation et donc de rendre tous les régimes de croissance favorable à l'adoption des BINT ? Une réponse réside dans les gains de productivité qui accompagnent le choc technique et que nous allons maintenant modéliser.

En effet, le progrès technique se caractérise non seulement par le développement d'une nouvelle catégorie de biens, mais aussi par l'amélioration et le développement de nouvelles techniques de production plus productives. Particulièrement importants au moment du choc technique (du fait de l'intervention d'innovations radicales), les gains de productivité perdurent (généralement via des innovations incrémentales) jusqu'à épuisement du potentiel de ces gains. Nous les supposons plus importants dans la production des BINT que dans celle des BS.

Nous modélisons ces deux phases en distinguant :

- le court et moyen termes $\left(t \leq t_{MT}\right)$, au cours desquels le secteur des BINT bénéficie de gains de productivité du travail supérieurs à ceux constatés le secteur des BS[14] ;
- le long terme $\left(t \geq t_{MT}\right)$, durant lequel le différentiel des gains de productivité du travail entre les deux secteurs s'épuise.

Ces conditions s'expriment de la manière suivante :

$$(1.23) \qquad \begin{array}{ll} \text{Si } t \leq t_{MT} & 0 < \dfrac{\dot{y}_s}{y_s} = \dfrac{\dot{y}_s^0}{y_s^0} < \dfrac{\dot{y}_n}{y_n} = \dfrac{\dot{y}_n^0}{y_n^0} \\ \text{Si } t > t_{MT} & \dfrac{\dot{y}_s}{y_s} = \dfrac{\dot{y}_s^0}{y_s^0} \quad \dfrac{\partial\left(\dot{y}_n / y_n\right)}{\partial t} < 0 \quad \lim_{t \to +\infty}\left[\dfrac{\dot{y}_n}{y_n} - \dfrac{\dot{y}_s}{y_s}\right] = 0 \end{array}$$

En réécrivant le programme de maximisation du profit des producteurs, nous déduisons les quantités produites à l'équilibre et finalement le taux de croissance de la consommation (noté g^P) qui comporte des termes supplémentaires par rapport à la relation (1.13) :

$$(1.24) \qquad g^P = \frac{\dot{C}}{C} = \underbrace{\left(1-\theta\right)\frac{\left(1-\alpha_s\right)}{\alpha_s}\gamma_s + \theta\frac{\left(1-\alpha_n\right)}{\alpha_n}\gamma_n + \frac{\dot{E}}{E}}_{g} + \left(1-\theta\right)\frac{\dot{y}_s}{y_s} + \theta\frac{\dot{y}_n}{y_n}$$

A court et moyen terme, nous obtenons donc :

[14] Pour simplifier, nous supposerons ces gains de productivité constants.

(1.25) $$g^P = \frac{\overset{\bullet}{C}}{C} = (1-\theta)\frac{(1-\alpha_s)}{\alpha_s}\gamma_s + \theta\frac{(1-\alpha_n)}{\alpha_n}\gamma_n + \frac{\dot{E}}{E} + \theta\left(\underbrace{\frac{\overset{\bullet}{y}{}_n^0}{y_n^0} - \frac{\overset{\bullet}{y}{}_s^0}{y_s^0}}_{\Delta}\right) + \frac{\overset{\bullet}{y}{}_s^0}{y_s^0}$$

Le progrès technique entraîne un taux supérieur de croissance de la consommation. De plus, lorsque le différentiel (Δ) de productivité entre le secteur des BINT et celui des BS est suffisamment important, le taux de croissance de la consommation g^P devient une fonction croissante de θ, supprimant ainsi le « paradoxe de l'innovation » dans les régimes de stagnation et de démarrage industriel. C'est le cas lorsque :

$$\Delta \geq Max\{\Delta_1, \Delta_2\} \qquad \theta \in [0, \theta_{\min}] \qquad \Delta_1 + \frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta) > 0$$

$$\theta \in \left]\theta_{\min}, \theta_{\max}\right[\qquad \theta_{\min} < \theta_m \qquad \Delta_2 + \frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta) > 0$$

Dans l'annexe 3, nous montrons que cette condition est équivalente à : $\Delta \geq Max\{\Delta_{1,\min}, \Delta_{2,\min}\}$ avec

$$\Delta_{1,\min} = \frac{1-\alpha_s}{\alpha_s b_s}\left[(1-\alpha_s)(1+\alpha_n)(L+\rho b_s) - \rho b_s\right]$$

$$\Delta_{2,\min} = \frac{2(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s}L - \frac{2(1-\alpha_s)^2 \alpha_n b_n}{\alpha_s(1-\alpha_n)b_s}\rho - \left[2 + \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\alpha_s} - 2\alpha_s\right]\rho$$

La Figure 4 montre les évolutions stylisées du taux de croissance de la consommation sans choc de productivité (g) ou avec un choc de productivité suffisamment grand (g^P). Sur la figure, à court et à moyen terme, le choc de productivité est suffisant pour supprimer le paradoxe de l'innovation. La fonction (g^P) est donc croissante. A très long terme (tendance asymptotique), le taux de croissance de la consommation g^P évolue comme g dans la mesure où le différentiel de gains productivité s'annule.

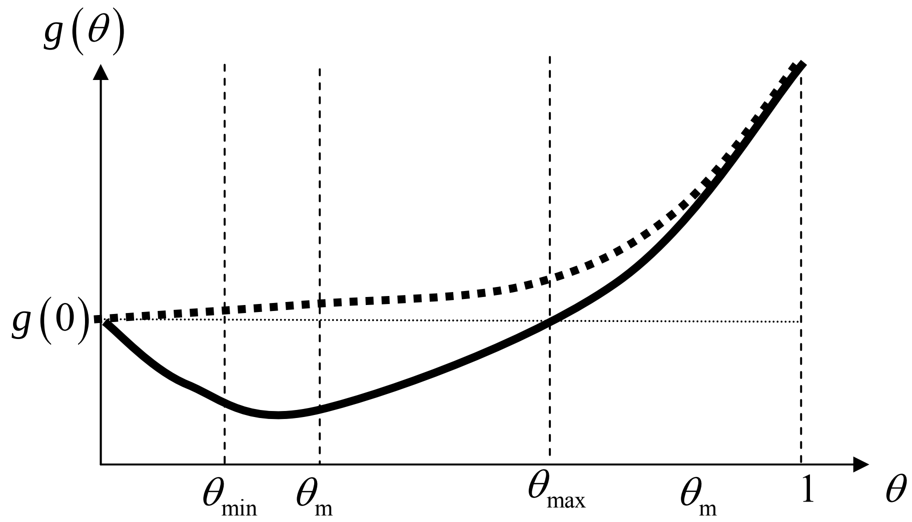

Figure 4 – Evolutions stylisées du taux de croissance de la consommation avec et sans choc de productivité.

En définitive, un choc de productivité suffisamment important autorise l'économie à rejoindre à long terme un équilibre stationnaire dans les régimes de démarrage industriel ou d'évolution industrielle. Tout particulièrement, il permet à l'économie d'accéder au régime de révolution industrielle en supprimant les freins que constituaient les paradoxes de l'innovation.

4.2 Le modèle et l'analyse des révolutions industrielles passées

Une des originalités du modèle réside dans la matrice commune qu'il propose pour l'analyse des périodes de chocs techniques dont peuvent découler des révolutions industrielles. L'analyse du modèle en statique comparative (annexe 4) montre que les facteurs favorables à l'émergence d'une révolution industrielle sont, notamment, un goût plus prononcé pour la diversité au sein des BINT, un affaiblissement du coût de recherche pour les BINT ou un taux d'obsolescence plus élevée de ces biens. Ces éléments peuvent notamment être rapprochés des connaissances des historiens-économistes. Cela nous permet de souligner la cohérence entre nos résultats et ces connaissances concernant d'abord le rôle important de la structure de consommation et des gains de productivité ; et ensuite l'analyse des trajectoires nationales alors même que le progrès technique pouvait sembler accessible de manière similaire dans les différents pays. Enfin, nous évoquons l'extension possible et proposons quelques perspectives de recherche.

La demande joue un rôle moteur mais doit s'accompagner de gains de productivité

La demande revêt en effet un rôle majeur à deux niveaux : d'abord parce qu'elle détermine la nature qualitative des biens consommés (intégrant, ou non les nouvelles techniques) caractérisant l'économie ; ensuite parce que le régime de croissance intégrant la part la plus importante BINT n'est le meilleur des régimes de croissance que si la préférence des consommateurs pour la diversité (au sein des BINT) est suffisamment forte ($\alpha_n < \alpha_{\max}$). C'est à cette condition que nous parlons de révolution industrielle et c'est en supposant cette condition remplie que nous continuons notre analyse.

Ce rôle d'aiguillon de la consommation apparaît cohérent avec les travaux de McKendrick et al. (1982) ou de Brewer & Porter (1993). Ces travaux mettent en lumière qu'une « révolution du consommateur » est à l'œuvre dès le 18$^{\text{ème}}$ siècle de manière relativement indépendante de l'offre mais nécessaire à l'industrialisation. Elle est caractérisée par une diffusion d'un nombre croissant de biens de consommation, par des achats répétitifs ou des phénomènes de mode. Nous retrouvons là une des caractéristiques de notre modèle selon lequel, à la suite d'un choc technique, un accroissement du goût des consommateurs pour la diversité (au sein des BINT) joue un rôle moteur non seulement dans le décollage initial de l'économie mais également dans la dynamique qui conduit à la révolution industrielle (annexe 4).

Nos travaux apparaissent également cohérents avec les recherches de De Vries (1993, 1994) selon lesquelles c'est d'abord une révolution des mentalités (en amont de la révolution industrielle) qui a conduit à la fois à une consommation accrue profitant largement aux biens manufacturés ainsi qu'à une augmentation de l'offre de travail (notamment des femmes et des enfants) qui permet cette évolution de la consommation. Sur cette dernière dimension, concernant l'offre de travail, l'étude du modèle en statique comparative apporte des éléments intéressants qui vont dans le même sens : un accroissement de l'offre de travail favorise bien le démarrage de la révolution industrielle puisqu'il facilite la transition du régime de stagnation industrielle au régime de démarrage industriel. Parallèlement, il apparaît que cette augmentation de l'offre de travail ne joue pas de rôle simple lorsqu'il s'agit de franchir le cap du régime de démarrage industriel et d'atteindre celui de la révolution industrielle.

Aussi, face à l'approche de Mokyr (1977), et presque de manière symétrique, nous défendons l'idée que l'évolution de la demande joue un rôle déterminant dans les révolutions industrielles alors que les facteurs de l'offre occupent un rôle de nécessaire accompagnement. Dans notre formalisation, l'offre repose sur les créations de nouvelles variétés de produits qui dépendent elles-mêmes des choix de consommation, la baisse des coûts d'innovation au sein des BINT jouant en faveur de la révolution industrielle. Elle repose également sur des gains de productivité (dans la production de ces biens) qui, s'ils sont insuffisants au début de la phase d'industrialisation, bloquent la transition vers le régime de la révolution industrielle (et ceci du fait de l'existence, dans ce cas, de ce que nous avons appelé un « paradoxe de l'innovation »).

Révolutions industrielles et spécificités nationales

Nos travaux permettent également de modéliser certaines explications sur les différences de trajectoires de développement des nations. Ainsi, pendant la première révolution industrielle, il apparaît clairement que les goûts des consommateurs pour les nouvelles cotonnades colorées venues des Indes (les indiennes) s'est développé bien davantage en Angleterre que dans les autres pays, où la résistance s'y est avérée plus importante. En France, malgré une hausse de revenus, les ménages ne consomment pas vraiment plus et font peu évoluer leurs modes de consommation, contrairement à ce que l'on constate dans des pays plus avancés comme l'Angleterre (Lévy-Leboyer & Bourguignon, 1985). De surcroît, le taux de renouvellement (et donc d'obsolescence) des biens de consommation apparaît relativement faible en France par rapport à la situation britannique, ce qui, selon notre modèle, tend bien à freiner l'avènement de la révolution industrielle.

De plus, en France, la forte bipolarisation sociale (laissant peu de place aux classes moyennes) a été l'un des facteurs explicatifs d'une faible dynamique de consommation de produits « nouveaux », en même temps que les gains de productivité dans les secteurs correspondant apparaissaient plus faibles qu'en Angleterre. En effet, la proto-industrialisation puis les fabriques ont permis, dans le textile anglais, des gains de productivité que les autres pays ont tardé à connaître. Ceci a également pu, d'après notre modèle, expliquer les difficultés relatives de la France à faire sa révolution industrielle.

De même, Verley (1997) défend la thèse que l'absence d'une véritable révolution industrielle en Hollande malgré un revenu par tête élevé serait largement explicable par l'absence d'un véritable marché intérieur pour les biens de la révolution industrielle. Ainsi, les hollandais se sont spécialisés dans des activités traditionnelles (notamment commerciales) sur lesquelles ils ont acquis une forte expérience, réduisant ainsi leurs coûts de développement de ces activités et rendant du même coup plus difficile l'avènement de l'industrialisation.

On pourra enfin souligner la cohérence du modèle avec la thèse de Gerschenkron (1962) sur le mécanisme de rattrapage entre pays les moins et les plus industrialisés : ces derniers, servant de référence aux premiers, ont généralement déjà développé un intérêt pour les BINT au moment de leur décollage industriel. Par l'imitation des nouvelles techniques, ils bénéficient donc de réductions de coûts, en particulier pour la recherche et le développement de leurs nouveaux produits. Enfin, le choix des meilleures techniques et formes d'organisation contribue à générer des gains de productivité importants dans la production des BINT. Ces différentes dimensions favorisent bien, dans notre modèle, l'avènement de la révolution industrielle.

Du modèle à la réalité des trois industrialisations : perspectives de recherche

Si le modèle est cohérent avec plusieurs analyses de la première révolution industrielle, il l'est également avec la deuxième industrialisation qui a vu se développer une importante demande de transports motorisés, un impressionnant attrait pour l'électricité et les usages que l'on pouvait en faire… Là aussi, la révolution industrielle ne s'est réalisée que par la conjonction d'une demande tournée vers les produits intégrant les nouvelles techniques et de gains de productivité importants dans la production de ces biens. Ceci est illustré par l'impressionnant dynamisme de l'économie américaine à la fin du 19$^{\text{ème}}$ siècle et le rattrapage de l'économie dominante qui était jusque là l'Angleterre. On constate alors que l'économie est caractérisée une demande particulièrement soutenue de biens issus de la deuxième industrialisation (comparée à celle des autres pays) et par des gains de productivité importants liés à la nouvelle organisation taylorienne du travail.

Il en va de même dans la récente période de transformation de l'économie caractérisée par un important développement des technologies de l'information et de la communication (TIC). Alors que les goûts des consommateurs évoluaient en faveur des BINT, on constatait l'existence de faibles gains de productivité sur longue période (paradoxe de Solow). C'est finalement durant les années de forte croissance aux Etats-Unis, de 1995 à 2000, que le paradoxe de Solow semble avoir été dépassé (Oliner & Sichel, 2000), dans une période caractérisée par un accroissement de la consommation des TIC, par l'arrivée du réseau Internet ainsi que par des gains de productivité qui furent notablement plus élevés dans le secteur des TIC (Gordon, 1999). Ces conditions ne sont pas sans rappeler celles de notre modèle sur la structure de consommation et les gains de productivité. Remarquons également que le paradoxe de Solow, lié à la production, peut, dans une certaine mesure, être rapproché du « paradoxe de l'innovation » lié à la consommation, que nous pouvons rencontrer dans les phases de stagnation ou de démarrage industriel de notre modèle.

Cette approche, forcément trop schématique, mériterait d'être approfondie dans de futurs travaux. Si elle présente l'intérêt de souligner la pertinence du modèle pour l'analyse des révolutions industrielles, il convient aussi d'en souligner les limites. Il en va ainsi de l'analyse du progrès technique, nécessairement plus complexe en réalité (Landes 1969, 2000). Le lien entre ce progrès, l'évolution des pratiques et celle des comportements de consommation mériterait d'être étudiés, de même que la nature et le niveau des investissements réalisés. Il en va de même du rôle vital de certains biens (notamment alimentaires), nécessaires avant tout autre forme de consommation, ou encore de celui de la distribution des revenus (Verley, 1997 ; Voigtländer & Voth, 2005). Enfin, parmi les nombreuses problématiques, celles relatives à la démographie et à la disponibilité de la main d'œuvre pourraient être approfondies (Bairoch, 1963, Boserup, 1965 ; Komlos & Artzrouni, 2003), de même que celles relatives aux changements institutionnels (North & Thomas, 1973 ; North, 1990 Jones, 2001) ou à l'évolution des formes d'organisations (Mendels, 1972).

4.3 Le rôle des politiques publiques

Toutes les variables du modèle soulignent à quel point le rôle des politiques publiques[15] est essentiel pour placer un pays dans des conditions optimales sur une trajectoire de croissance de révolution industrielle. Ce fut une interrogation forte dans les années soixante de savoir pourquoi la première révolution industrielle eut lieu en Grande Bretagne plutôt que dans les pays d'Europe Continentale, et pourquoi il y eut ce si grand décalage dans le temps entre les pays bénéficiaires de la première révolution industrielle. Les réponses furent diverses mais toutes soulignent que l'Etat fut essentiel tant dans la révolution agricole Britannique tout au long du 18ème siècle que dans le développement des sciences et techniques au cours des mêmes années. Mais rien n'eut été possible si la société anglaise n'avait décidé, y compris les classes laborieuses de modifier sa consommation liée aux deux points forts de cette période : les produits agricoles et les biens textiles. Ce fut la même chose pour la seconde révolution industrielle. On comprend bien qu'il faut un acteur déterminant, qui porte la période de transition où des biens nouveaux vont être produits, où ceci sera fait selon des processus de production, eux aussi nouveaux. C'est en réalité un nouvel

[15] Les pouvoirs publics, par les politiques d'éducation, de recherche et d'innovation, comme de politique industrielle ont en effet la possibilité d'influer sur les paramètres du modèle, et ainsi de favoriser l'avènement d'une révolution industrielle. Une politique d'éducation et d'information peut en effet abaisser le coût d'adoption des nouvelles technologies (k), faciliter une meilleure productivité à l'avenir, ou favoriser la mise à disposition d'un plus grand stock de BINT pour accélérer leur diffusion. Une politique de recherche et d'innovation peut diminuer les coûts d'innovation pour le secteur de la recherche, que ce soit par des politiques de subvention ciblées (appels d'offre de l'ANR, programmes européens, pôles de compétitivité…) ou par une évolution des règles sur les brevets, de nature à améliorer la profitabilité de l'innovation. Le rôle des normes et réglementations n'est pas ici évoqué, mais il est de nature également à favoriser l'obsolescence des biens existants.

équilibre offre / demande qui doit se mettre en place de manière harmonieuse. Si tel n'est pas le cas, si par exemple, le choc technique touche d'abord les processus de production, cela entrainera une forte substitution du capital au travail, entraînant par là même une baisse de la demande et au mieux, une stagnation économique. C'est en fait ce qu'ont connu, dans les vingt dernières années, plusieurs pays européens dont le nôtre. La croissance économique américaine est née de mouvements coordonnés de l'évolution de la structure de consommation et des changements dans la manière de produire les biens et services. Alors, les politiques publiques s'imposent.

Il s'agit pour l'Etat de favoriser la diffusion des biens et services technologiques et cela se fait de deux manières : d'abord, en développant tous les réseaux et infrastructures qui favorisent cette diffusion. La meilleure illustration de cette politique est Japonaise dans le domaine des réseaux des Telecom. Et puis, il faut utiliser l'achat public de la manière la plus large et efficace possible, un bon exemple en est comme cela avait été indiqué à Lisbonne, l'installation d'équipements informatiques de manière massive dans les écoles et les universités. Cet exemple plutôt lié aux technologies de l'information et de la communication peut évidemment s'étendre à tous les domaines évolutifs, que ce soit les technologies de la santé, de l'enseignement… Mais, comme le modèle l'indique, il faut des gains de productivité, et dans la conception et dans la production de ces nouveaux biens. Comme pour les révolutions industrielles précédentes, le rôle des pouvoirs publics est de bâtir des politiques de développement des connaissances très volontaristes. Les Etats-Unis, aussi bien par l'intervention massive de la DARPA[16], que par le réseau d'universités, que par l'éclosion de clusters technologiques montrent la voie à suivre. Rien de tout cela n'est bien original, mais ce que notre modèle montre c'est qu'il faut à la fois des politiques publiques déterminées, qui mettent en œuvre des moyens importants et surtout qui coordonnent bien l'action sur l'offre et la demande.

Conclusion

Le modèle que nous proposons dans cet article présente l'originalité d'examiner l'impact d'un choc technique sur les régimes de croissance en mettant en valeur le rôle de l'évolution de la structure de consommation (et donc des comportements des consommateurs). Le choc technique y est défini par l'apparition de nouvelles techniques, tant dans la consommation (une nouvelle variété de biens apparaissant avec ce choc : les BINT) que dans la production de l'ensemble des biens de

[16] Defense Advanced Research Projects Agency

consommation. Les deux révolutions industrielles des 18^{e} et 19^{e} siècles, ainsi que l'émergence et le développement des TIC depuis vingt ans, sont, à cet égard, de bons exemples de chocs techniques.

Le modèle permet de démontrer deux résultats principaux. Le premier réside dans l'existence de trois régimes de croissance qui se différencient par les structures de consommation des ménages. Le régime d'évolution industrielle se caractérise par le dépassement d'un seuil d'intégration des BINT dans la structure de consommation. Sous l'hypothèse que les consommateurs ont un goût pour la diversité suffisant (au sein des BINT), ce régime est aussi celui dont la croissance est la plus forte. Il correspond alors au régime de croissance des révolutions industrielles. Le régime de stagnation industrielle correspond à une structure de consommation intégrant très peu de BINT. Le régime de démarrage industriel, quant à lui, est un régime intermédiaire entre les deux précédents. Le deuxième résultat réside dans les conditions de l'avènement d'une révolution industrielle : pour atteindre ce régime, il faut et il suffit que trois conditions soient remplies : un goût suffisant des consommateurs pour la diversité au sein des BINT, un coût d'adoption des BINT suffisamment faible et des gains de productivité dans la production des BINT suffisamment forts relativement à ceux qui caractérisent la production des BS. Les deux premières conditions déterminent le régime de révolution industrielle, alors que la troisième rend possible la transition vers ce régime.

Ce modèle contribue donc à enrichir le débat sur les rôles respectifs de l'offre et de la demande dans les révolutions industrielles. Il montre, du côté de la demande, l'importance des comportements de consommation envers les biens intégrant les nouvelles techniques et, du côté de l'offre, celle des gains relatifs de productivité dans le secteur de ces biens.

Bibliographie

BAIROCH Paul (1963), *Révolution industrielle et sous-développement*, Société d'édition d'enseignement supérieur, Paris.

BARRO Robert J., SALA-I-MARTIN Xavier (1996), *La croissance économique*, McGraw-Hill, Ediscience, Paris.

BOSERUP Ester (1965), *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*, Allen and Unwin, London.

BRAUDEL Fernand (1979), *Civilisation matérielle, Economie et capitalisme – XV^{e}-XVIII^{e} siècle*, 3 tomes, Armand Colin, Paris.

BREWER John, PORTER Roy (1993), *Consumption and the World of Goods*, Routledge, London.

CHEETHAM Russel J., KELLEY Allen C., WILLIAMSON Jeffrey G. (1974), « Demand Structural Change, and the Process of Economic Growth » in DAVID Paul A., REDER Melwin W. (1974), *Nations and Households in Economic Growth – Essays in Honor of Moses Abramovitz*, Academic Press, New-York and London.

CLARK Gregory, HUBERMAN Michael, LINDERT Peter (1995) "A British Food Puzzle" in *Economic History Review*, vol. 48, n°2, p.215-237.

CRAFTS Nicholas F. R. (1985), *British Economic Growth During the Industrial Revolution*, Clarendon Press, Oxford.

CLARK, Gregory (2003), "The *Great Escape: The Industrial Revolution in Theory and History*", *Working paper*, University of California – Davis, September.

CRAFTS Nicholas F. R. (2005), "The First Industrial Revolution: Resolving the Slow Growth/Rapid Industrialization Paradox" in *Journal of the European Economic Association*, vol.3, n°2-3, p.525-534, April-May.

DE VRIES Jan (1993), "Between Purchasing Power and the World of Goods: Understanding the Household Economy in Early Modern Europe" in BREWER John, PORTER Roy (1993), *Consumption and the World of Goods*, Routledge, London, p.85-132.

DE VRIES Jan (1994), "The Industrial Revolution and the Industrious Revolution" in *Journal of Economic History*, vol. 54, n°2, p.249-270.

DIXIT Avinash K, STIGLITZ Joseph (1977), "*Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity* », *American Economic Review*, vol. 67(3), p.297-308, June.

FLACHER David (2003), *Révolutions industrielles, croissance et nouvelles formes de consommation*, Thèse de Doctorat en Sciences Economiques, Université Paris IX-Dauphine, Paris.

GASTALDO Sylviane, RAGOT Lionel (2000), « Croissance endogène et pollution : une approche fondée sur le comportement du consommateur » in *Annales d'Economie et Statistique*, N°57, http://www.adres.polytechnique.fr/ANCIENS/n57/05.Gastaldo,Ragot.pdf

GERSCHENKRON Alexander (1962), *Economic Backwardness in Historical Perspective*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge (Mass.).

GILBOY Elizabeth Waterman (1932), "Demand as a factor in the Industrial Revolution" in Cole A.H. (ed.), *Facts and Factors in Economic History*, repris in Hartwell R.M. (ed.) (1967), *The Causes of Industrial Revolution in England*, London.

GORDON Robert J. (1999). "Has the 'New Economy' Rendered the Productivity Slowdown Obsolete?" Northwestern University, NBER, june.

GROSSMAN Gene M., HELPMAN Elhanan (1991), *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge (Mass.).

HORRELL Sara (1996), “Home Demand and British Industrialization” in *Journal of Economic History*, vol. 56, n°3, September, p.561-604.

HUDSON Pat (1992), *The Industrial Revolution*, Edward Arnold, London.

HUNG Victor T. Y., CHANG Pamela, BLACKBURN Keith (1993), “Endogenous growth, Environment and R&D” in CARRARO Carlo (eds), *Trade, Innovation and Environment*, Kluwer academic publishers.

JONES Charles I. (2001), “Was the Industrial Revolution Inevitable? Economic Growth Over the Very Long Run”, *Advances in Macroeconomics*, 1, 2, article 1.

KOMLOS John, ARTZROUNI Marc (2003), *Un modèle démoéconomique de la Révolution Industrielle*, Discussion Paper, Munich Economics, July, http://epub.ub.uni-muenchen.de.

LANDES David S. (1969), *The Unbound Prometheus. Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*, Cambridge University Press ; traduction française en 1975, L’Europe technicienne ou le Prométhée libéré, Gallimard, Paris.

LANDES David S. (2000), *Richesse et pauvreté des nations – Pourquoi des riches ? Pourquoi des pauvres ?*, Albin Michel, Paris.

LEVY-LEBOYER Maurice, BOURGUIGNON François (1985), *L’économie française au XIXe siècle. Analyse macro-économique*, Paris, Economica.

LORENZI Jean-Hervé (2002), « Un nouveau système productif ? », in DOCKES Pierre (ed.), *Ordre et désordres dans l’économie-monde*, PUF, Paris.

LORENZI Jean-Hervé, TOLEDANO Joëlle, PASTRE Olivier (1984), *La crise du XXe siècle*, Economica, Paris.

MCKENDRICK Neil, BREWER John, PLUMB J.H. (1982), *The Birth of a Consumer Society: The Commercialization of Eighteenth-Century England*, Indiana University Press, Bloomington.

MENDELS Franklin (1972), “Proto-Industrialization: the first Phase of Industralization” in *Journal of Economic History*, vol.32, n°1, p.241-261.

MOKYR Joel (1977), “Demand vs Supply in the Industrial Revolution” 1977, *Journal of Economic History*, 37, 981-1008; also published in MOKYR Joel (ed.) (1985), *The Economics of the Industrial Revolution*, Rowman & Allanheld, London, p.97-118.

NORTH Douglass C. (1981), *Structure and Change in Economic History*, Norton, New-York.

NORTH Douglass C. (1990), *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge University Press, Cambridge.

NORTH Douglass C., THOMAS Robert P. (1973), *The Rise of the Western World*, Cambridge University Press, Cambridge.

OLINER Stephen D., SICHEL Daniel E. (2000), “The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story?”, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 14, No. 4, Autumn, p. 3-22.

ROSTOW Walt Witman (1960), *The Stages of Economic Growth*, Cambridge University Press, Cambridge.

SPENCE Michael (1976), *Product Differentiation and Welfare*, American Economic Review, American Economic Association, vol. 66(2), pages 407-14, May.

VERLEY Patrick (1997), *L’échelle du monde. Essai sur l’industrialisation de l’Occident*, Gallimard, Paris.

VERLEY Patrick (1999), « Quelques remarques sur la pertinence du concept de système technique pour l’époque de la première industrialisation » in BOURLES Jean (sous la direction de), *La rupture technologique*, Economica, Paris.

VILLEMEUR Alain (2004), *La divergence Etats-Unis – Europe*, Economica, Paris.

VOIGTLÄNDER Nico, VOTH Hans-Joachim (2005), “Why England? Demand, Growth and Inequality During the Industrial Revolution”, *Working paper*, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, July.

Annexe 1 : La résolution du modèle

Les fonctions de consommation instantanée et intertemporelle

Posons le Lagrangien associé au programme d'optimisation instantanée du consommateur (1.3) :

$$L\left(\left(c_s(i)\right)_{i\in\{1...n_s\}},\left(c_n(j)\right)_{j\in\{1...n_n\}},\lambda\right)=\ln(C)+\lambda\left[E-\sum_{i=1}^{n_s}p_s(i)c_s(i)-\sum_{j=1}^{n_n}p_n(j)c_n(j)\right]$$

Les conditions de premier ordre sont alors, pour $l\in\{s,n\}$ et pour tout $k\in\{1...n_l\}$:

(1.26) $$\frac{\partial L}{\partial c_l(k)}=\theta_l\frac{c_l(k)^{\alpha_l-1}}{\sum_{i=0}^{n_l}c_l(i)^{\alpha_l}}-\lambda p_l(k)=0$$

(1.27) $$E=\sum_{i=1}^{n_s}p_s(i)c_s(i)+\sum_{j=1}^{n_n}p_n(j)c_n(j)$$

En multipliant (1.26) par $c_l(k)$, en sommant ces équations et en utilisant (1.27), nous obtenons :

(1.28) $$\lambda.\left(\sum_{i=1}^{n_s}p_s(i)c_s(i)+\sum_{j=1}^{n_n}p_n(j)c_n(j)\right)=\lambda E=(1-\theta)\frac{\sum_{i=1}^{n_s}c_s(i)^{\alpha_s}}{\sum_{i=1}^{n_s}c_s(i)^{\alpha_s}}+\theta\frac{\sum_{i=1}^{n_n}c_n(i)^{\alpha_n}}{\sum_{i=1}^{n_n}c_n(i)^{\alpha_n}}=1$$

Les équations (1.26) et (1.28) permettent d'écrire :

(1.29) $$c_l(k)=\left[\frac{p_l(k)\sum_{i=1}^{n_l}c_l(i)^{\alpha_l}}{\theta_l E}\right]^{\frac{1}{\alpha_l-1}}$$

mais aussi :

(1.30) $$\frac{1}{E}\sum_{k=1}^{n_l}p_l(k)c_l(k)=\theta_l\frac{\sum_{i=1}^{n_l}c_l(i)^{\alpha_l}}{\sum_{i=1}^{n_l}c_l(i)^{\alpha_l}}=\theta_l$$

Notons en passant que l'équation (1.30), qui résulte du programme d'optimisation du consommateur montre que θ_l représente donc la part des dépenses en bien l dans le revenu E.

En remplaçant les $c_l(k)$ dans l'équation (1.30) par leurs valeurs exprimées par l'équation (1.29), nous montrons que :

$$(1.31)\quad \theta_l E = \left[\frac{\sum_{k=1}^{n_l} c_l(i)^{\alpha_l}}{\theta_l E}\right]^{\frac{1}{\alpha_l - 1}} \sum_{k=1}^{n_l} p_l(k)^{1-\frac{1}{1-\alpha_l}} \text{ ou encore } \sum_{k=1}^{n_l} c_l(k)^{\alpha_l} = \frac{(E\theta_l)^{\alpha_l}}{\left[\sum_{k=1}^{n_l} p_l(k)^{1-\frac{1}{1-\alpha_l}}\right]^{\alpha_l - 1}}$$

En remplaçant (1.31) dans (1.29), nous obtenons le résultat attendu (1.4).

Il s'agit bien d'un maximum du fait de la concavité de la fonction d'utilité.

La maximisation de la fonction d'utilité intertemporelle du consommateur sous la contrainte de budget intertemporelle (1.5) se déduit en écrivant le Lagrangien intertemporel ou le Hamiltonien associé à ce programme. Comme C_t dépend de E_t, nous réécrivons pour cela le programme équivalent :

$$(1.32)\quad \begin{gathered} \underset{E(.)}{Max} \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln\left(E_t \overline{C}_t\right) dt \\ \text{sous la contrainte} \quad \dot{a}_t = w_t + r_t a_t - E_t \end{gathered}$$

En effet :

$$(1.33)\qquad C = E\left[\sum_{i=1}^{n_s}\left[\frac{(1-\theta)\left[p_s(i)\right]^{-\frac{1}{1-\alpha_s}}}{\sum_{k=1}^{n_s} p_s(k)^{1-\frac{1}{1-\alpha_s}}}\right]^{\alpha_s}\right]^{\frac{1-\theta}{\alpha_s}}\left[\sum_{j=1}^{n_n}\left[\frac{\theta\left[p_n(j)\right]^{-\frac{1}{1-\alpha_n}}}{\sum_{k=1}^{n_s} p_n(k)^{1-\frac{1}{1-\alpha_n}}}\right]^{\alpha_n}\right]^{\frac{\theta}{\alpha_n}} = E\overline{C}$$

où $\overline{C}$ ne dépend pas de E. Le Hamiltonien s'écrit donc :

$$(1.34)\qquad H\left(E_t, a_t, \lambda_t, t\right) = e^{-\rho t} \ln\left(E_t \overline{C}_t\right) + \lambda_t\left(w_t + r_t a_t - E_t\right)$$

Les conditions de premier ordre sont, selon le principe du maximum de Pontryagin :

$$(1.35)\qquad \frac{\partial H}{\partial E_t} = \frac{e^{-\rho t}}{E_t} - \lambda_t = 0$$

$$(1.36)\qquad \frac{\partial H}{\partial a_t} = \lambda_t r_t = -\dot{\lambda}_t$$

$$(1.37)\qquad \frac{\partial H}{\partial \lambda_t} = w_t + r_t a_t - E_t = \dot{a}_t$$

D'où l'on déduit aisément la relation (1.6).

La maximisation du profit du producteur

Compte tenu des hypothèses faites, le profit s'écrit :

$$p_l(k)c_l(k) - \frac{\omega}{y_l}c_l(k) \quad \text{avec} \quad c_l(k) = \frac{\theta_l E\left[p_l(k)\right]^{-\frac{1}{1-\alpha_l}}}{\sum_{i=1}^{n_l} p_l(i)^{1-\frac{1}{1-\alpha_l}}}$$

La dérivée partielle du profit par rapport à $p_l(k)$ doit être nulle. On admet, de manière classique, que la dérivée par rapport à $p_l(k)$ du ratio constitué par E et par le dénominateur de $c_l(k)$ est négligeable[17]. D'où :

$$c_l(k) + p_l(k)\frac{\partial c_l(k)}{\partial p_l(k)} - \frac{\omega}{y_l}\frac{\partial c_l(k)}{\partial p_l(k)} = c_l(k)\left[1 - \frac{1}{1-\alpha_l} + \frac{\omega}{y_l(1-\alpha_l)p_l(k)}\right] = 0$$

Le prix de chaque bien $p_l(k)$ en résulte :

$$p_l(k) = \frac{\omega}{\alpha_l y_l}$$

On note qu'il est indépendant du bien k. On en déduit $c_l(k)$ et $\pi_l(k)$, également indépendants du bien k.

Les trois régimes de croissance

La dynamique de l'économie est fondamentalement basée sur l'évolution du revenu du consommateur et sur les recherches dans les différents secteurs, lorsqu'elles sont actives :

$$\frac{\dot{E}}{E} = (1-\alpha_s)\frac{(1-\theta)E}{b_s} - \rho - \gamma_s \qquad \gamma_s \geq 0 \qquad\qquad \frac{\dot{E}}{E} = (1-\alpha_n)\frac{\theta E}{b_n} - \rho - \gamma_n \qquad \gamma_n \geq 0$$

L'équilibre du marché du travail impose :

$$L = \alpha_s(1-\theta)E + \alpha_n \theta E + b_s\gamma_s + b_n\gamma_n$$

La dynamique de l'économie fait apparaître trois régimes de croissance que l'on explicite. Le meilleur régime de croissance est ensuite caractérisé.

---

[17] Ceci revient à considérer que le producteur tient pour négligeable les effets globaux d'une variation de prix (voir Barro & Sala-I-Martin, 1996, chap. 6, p.259).

Le régime de stagnation industrielle

Dans ce régime, seule la recherche dans le secteur des BS est active. La dynamique de l'économie s'écrit :

$$\frac{\dot{E}}{E} = (1-\alpha_s)\frac{(1-\theta)E}{b_s} - \rho - \gamma_s \qquad L = \alpha_s(1-\theta)E + \alpha_n\theta E + b_s\gamma_s$$

La trajectoire du revenu est :

$$\frac{\dot{E}}{E} = \frac{[1-(1-\alpha_n)\theta]E - L}{b_s} - \rho$$

A l'équilibre de long terme[18], un sentier de croissance est défini par :

$$E = \frac{L+\rho b_s}{1-(1-\alpha_n)\theta} \qquad \gamma_s = \frac{(1-\alpha_s)(1-\theta)}{1-(1-\alpha_n)\theta}\frac{L}{b_s} - \frac{\alpha_s(1-\theta)+\alpha_n\theta}{1-(1-\alpha_n)\theta}\rho \qquad g = (1-\theta)\frac{(1-\alpha_s)}{\alpha_s}\gamma_s$$

Plus le taux θ de consommation des BINT s'élève, plus le revenu des consommateurs augmente, de même que leurs dépenses dans les deux types de biens. Le surcroît de travail mobilisé pour produire ces biens se fait au détriment de l'innovation dans les BS et du taux de croissance de la consommation. Cette dernière diminution est à l'origine du paradoxe de l'innovation.

Le régime d'évolution industrielle

Dans ce régime, seule l'activité de recherche dans le secteur des BINT est active. La dynamique de l'économie s'écrit :

$$\frac{\dot{E}}{E} = (1-\alpha_n)\frac{\theta E}{b_n} - \rho - \gamma_n \qquad L = \alpha_s(1-\theta)E + \alpha_n\theta E + b_n\gamma_n$$

A l'équilibre de long terme, un sentier de croissance est défini par :

$$E = \frac{L+\rho b_n}{1-(1-\alpha_s)(1-\theta)} \qquad \gamma_n = \frac{(1-\alpha_n)\theta}{1-(1-\alpha_s)(1-\theta)}\frac{L}{b_n} - \frac{\alpha_s(1-\theta)+\alpha_n\theta}{1-(1-\alpha_s)(1-\theta)}\rho \qquad g = \frac{(1-\alpha_n)}{\alpha_n}\theta\gamma_n$$

Plus le taux θ de consommation des BINT s'élève, plus le revenu des consommateurs diminue, de même que leurs dépenses dans les deux types de biens, afin de consacrer davantage de travail à l'innovation dans les BINT. Au total, le taux de croissance de la consommation augmente. Dans ce régime, il n'existe donc pas de paradoxe de l'innovation.

[18] Une autre valeur d'équilibre est la valeur nulle. Cette solution, qui correspond à un niveau nul de revenu ou de consommation, n'est pas optimale et ne présente pas d'intérêt.

Le régime de démarrage industriel

Dans ce régime, les recherches dans les deux secteurs sont actives. La dynamique de l'économie s'écrit :

$$\frac{\dot{E}}{E}=(1-\alpha_s)\frac{(1-\theta)E}{b_s}-\rho-\gamma_s \qquad \frac{\dot{E}}{E}=(1-\alpha_n)\frac{\theta E}{b_n}-\rho-\gamma_n \qquad L=\alpha_s(1-\theta)E+\alpha_n\theta E+b_s\gamma_s+b_n\gamma_n$$

A l'équilibre de long terme, un sentier de croissance est défini par :

$$E=L+\rho b_s+\rho b_n \qquad \gamma_s=\frac{(1-\alpha_s)(1-\theta)}{b_s}(L+\rho b_s+\rho b_n)-\rho \qquad \gamma_n=\frac{(1-\alpha_n)\theta}{b_n}(L+\rho b_s+\rho b_n)-\rho$$

$$g=(1-\theta)\frac{(1-\alpha_s)}{\alpha_s}\gamma_s+\theta\frac{(1-\alpha_n)}{\alpha_n}\gamma_n$$

Dans ce régime, le revenu des consommateurs est constant. Plus le taux θ de consommation des BINT s'élève, plus le taux d'innovation dans les BS diminue et celui des BINT augmente. Le taux de croissance de la consommation (g) :

- croît si $\theta_m \leq \theta_{\min}$

  avec $\theta_m=\left[\frac{\rho}{2[L+\rho b_s+\rho b_n]}\left[\frac{1}{\alpha_n}-\frac{1}{\alpha_s}\right]+\frac{(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s}\right]\Big/\left[\frac{(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s}+\frac{(1-\alpha_n)^2}{\alpha_n b_n}\right]$

- décroît sur $]\theta_{\min},\theta_m]$ puis croît ensuite si $\theta_{\min}\leq\theta_m\leq\theta_{\max}$.
- décroît si $\theta_{\max}\leq\theta_m$

Il ne peut donc y avoir paradoxe de l'innovation que dans le cas où θ_m est supérieur à $\theta_{\min}$.

Les taux d'innovation dans les BS et les BINT devant être positifs, les conditions d'existence du régime de démarrage industriel sont les suivantes :

$$\theta>\theta_{\min}=\frac{\rho b_n}{(1-\alpha_n)(L+\rho b_s+\rho b_n)} \qquad \theta<\theta_{\max}=1-\frac{\rho b_s}{(1-\alpha_s)(L+\rho b_s+\rho b_n)}$$

Les frontières des trois régimes sont donc les suivantes :

- régime de stagnation industrielle : $0\leq\theta\leq\theta_{\min}$
- régime de démarrage industriel : $\theta_{\min}<\theta<\theta_{\max}$
- régime d'évolution industrielle : $\theta_{\max}\leq\theta\leq 1$

Il est à noter que E, γ_l et g sont des fonctions continues en θ aux frontières[19] des régimes. Cette partition en trois régimes se succédant n'existe que si $\theta_{\min} < \theta_{\max}$, ce qui revient à imposer :

$$\rho < \frac{(1-\alpha_s)(1-\alpha_n)L}{(1-\alpha_n)\alpha_s b_s + (1-\alpha_s)\alpha_n b_n} \tag{1.38}$$

Le taux de préférence pour le présent doit donc être inférieur à un seuil pour favoriser le démarrage de l'activité de recherche dans le secteur des BINT. Si ce n'était pas le cas, on obtiendrait trois autres régimes de croissance ; au régime de stagnation industrielle ($0 \le \theta < \theta'_{\min}$), succèderait celui où aucune recherche ne serait active ($\theta'_{\min} \le \theta \le \theta'_{\max}$), puis celui du régime d'évolution industrielle ($\theta'_{\max} < \theta \le 1$). L'interprétation est la suivante : un taux de préférence pour le présent trop élevé (c'est à dire le taux d'intérêt lorsqu'il y a équilibre du revenu) handicape le démarrage de la recherche dans les BINT et parait caractériser des régimes de crise. En conséquence, ces autres régimes de croissance ne seront pas étudiés.

Cette condition suffit aussi à assurer que le taux de croissance (g) est positif[20] pour toutes les valeurs possibles de θ.

Les conditions d'existence du régime de révolution industrielle

Par définition, le régime de révolution industrielle n'existe que si le régime d'évolution industrielle est le meilleur régime de croissance. Pour quelles valeurs des paramètres cette condition est-elle remplie ?

Nous avons souligné dans le texte que, après examen des sens de variation de g, une condition nécessaire et suffisante était $g(\theta_{\max}) \ge g(0)$. Etudions donc le signe de :

$$g(\theta_{\max}) - g(0) = \theta_{\max}\left(\frac{1-\alpha_n}{\alpha_n}\right)\left[\frac{(1-\alpha_n)\theta_{\max}(L+\rho b_s+\rho b_n)}{b_n} - \rho\right] - \frac{1-\alpha_s}{\alpha_s}\left[\frac{(1-\alpha_s)L}{b_s} - \alpha_s\rho\right]$$

Cette expression est notamment une fonction de α_n. La condition sur le taux de préférence (1.38) est équivalente à une condition[21] sur $\alpha_{n:}$:

---

[19] En revanche, les dérivées par rapport à θ de ces fonctions ne sont pas continues aux frontières, compte tenu des discontinuités liées aux activités des secteurs de recherche.

[20] En effet, le taux de croissance de la consommation est positif sur $]\theta_{\min}, \theta_{\max}[$; il l'est donc aussi sur les autres intervalles, compte tenu des propriétés d'évolution de g en fonction de θ.

[21] Le dénominateur de α_1 est toujours positif, du fait que $g(0) > 0$.

$\alpha_n \in]0,\alpha_1[$ avec $\alpha_1 = 1 - \dfrac{\rho b_n (1-\alpha_s)}{(1-\alpha_s)(L+\rho b_n) - \alpha_s b_s \rho} < 1$

Nous pouvons décrire les sens de $g(\theta_{max}) - g(0)$ sur l'intervalle de définition de α_n.

α_n	0	α_{max}	α_1
$g(\theta_{max}) - g(0)$	$+\infty$	0	<0

Tableau 5 – Variation de l'écart de croissance en fonction du goût pour la diversité au sein des BINT

$g(\theta_{max}) - g(0)$ étant une fonction continue de α_n sur $]0,\alpha_1[$, il existe une valeur α_{max} qui annule cette fonction et donc telle que :

$$\forall \alpha_n < \alpha_{max},\ g(\theta_{max}) > g(0).$$

$$\text{avec } \alpha_{max} = 1 - \frac{\theta_{max}\alpha_s b_s b_n \rho - (1-\alpha_s) b_n \left[(1-\alpha_s)L - \alpha_s b_s \rho\right] + \sqrt{\Delta}}{2\theta_{max}^2 \alpha_s b_s (L + \rho b_s + \rho b_n)}$$

où

$$\Delta = \left[\theta_{max}\alpha_s b_s b_n \rho - (1-\alpha_s) b_n \left[(1-\alpha_s)L - \alpha_s b_s \rho\right]\right]^2 + 4\theta_{max}^2 (L + \rho b_s + \rho b_n)\left[(1-\alpha_s)L - \alpha_s b_s \rho\right]\alpha_s b_s b_n$$

En outre, la valeur α_{max} est inférieure à α_s. En effet, compte tenu de la croissance de la fonction $g(\theta)$ dans le régime d'évolution industrielle et de l'hypothèse faite sur les coûts de la recherche dans les deux secteurs :

$$g(\theta_{max}) - g(0) < g(1) - g(0)$$

$$\alpha_n = \alpha_s \quad \Rightarrow \quad g(1) - g(0) = \frac{(1-\alpha_s)^2 L}{\alpha_s}\left[\frac{b_s - b_n}{b_s b_n}\right] < 0 \quad \Rightarrow \quad g(\theta_{max}) - g(0) < 0$$

D'où :

$$\alpha_{max} < \alpha_s$$

En définitive, nous avons montré :

$$\forall L, b_s, b_n, \alpha_s, \rho \qquad \exists \alpha_{max} < \alpha_s \text{ tel que } \forall\ \alpha_n < \alpha_{max},\ g(\theta_{max}) > g(0)$$

Autrement dit :

$$\exists \alpha_{max} < \alpha_s \ \ tel\ \ que\ \ \forall \alpha_n < \alpha_{max} \ \ \forall \theta \in [\theta_{max}, 1]\ \ \forall \theta' \in [0, \theta_{max}]\ \ g(\theta) > g(\theta')$$

Il faut et il suffit que le goût pour la diversité au sein des BINT soit supérieur à une valeur minimale dépendant des paramètres $L, b_s, b_n, \alpha_s, \rho$ pour que le meilleur régime de croissance soit le régime d'évolution industrielle, cette valeur minimale étant supérieure au goût pour la diversité au sein des BS.

Annexe 2 : les équilibres stationnaires

Compte tenu du choix endogène du consommateur, il convient d'introduire dans le modèle une nouvelle relation en θ_t et N_t, lorsque $\theta > \theta_{\min}$:

$$\theta_t = \min\left\{\frac{L}{kN_t},\ 1\right\}$$

On obtient un système dynamique à régimes multiples non linéaires et continus (y compris en ces seuils).

L'équilibre stationnaire au sein du régime de démarrage industriel **(**$\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$**)**

$$\dot{E} = E\left(\frac{E-L}{b_s+b_n} - \rho\right) \qquad \dot{N} = -\delta\ N + \frac{\alpha_n y_n LE}{kN} \quad \text{si} \quad \frac{L}{k\theta_{\max}} < N_t < \frac{L}{k\theta_{\min}}$$

L'équilibre stationnaire au sein du régime d'évolution industrielle **(**$\theta_{\max} \leq \theta < 1$**)**

$$\dot{E} = E\left(\frac{\alpha_s}{b_n}E + \frac{(1-\alpha_s)EL}{b_n kN} - \frac{L}{b_n} - \rho\right) \qquad \dot{N} = -\delta\ N + \frac{\alpha_n y_n LE}{kN} \quad \text{si} \quad \frac{L}{k} < N_t < \frac{L}{k\theta_{\max}}$$

L'équilibre stationnaire au sein du régime extrême d'évolution industrielle **(**$\theta = 1$**)**

$$\dot{E} = E\left(\frac{E-L}{b_n} - \rho\right) \qquad \dot{N} = -\delta\ N + \alpha_n y_n E \quad \text{si} \quad N_t \leq \frac{L}{k}$$

Le système dynamique est toujours caractérisé par une variable prédéterminée *N* et une variable non-prédéterminée *E*. Pour chaque régime de croissance, la valeur de l'équilibre (attracteur) sera recherchée. Ensuite, la stabilité de l'équilibre sera démontrée ; il suffit que le déterminant de la matrice jacobienne, évaluée à l'équilibre, soit négatif[22]. Les équilibres stables du taux de consommation des BINT sont explicités en fonction du domaine de définition du paramètre de saturation.

L'équilibre stationnaire au sein du régime de démarrage industriel

L'équilibre est défini par :

[22] Ceci correspond à une valeur propre négative (égale au nombre de variables prédéterminées) et à une valeur propre positive (égale au nombre de variables non-prédéterminées).

$$E^* = L + \rho b_s + \rho b_n \qquad N^* = \sqrt{\frac{\alpha_n y_n L(L + \rho b_s + \rho b_n)}{\delta k}}$$

Les conditions d'apparition de l'équilibre sont :

$$\frac{L}{k\theta_{\max}} < N^* < \frac{L}{k\theta_{\min}}$$

Ceci se traduit par un domaine de définition de *k :* $k_2 \le k \le k_3$

$$k_2 = \frac{\delta L}{\alpha_n y_n \theta_{\max}^2 \left[L + \rho b_s + \rho b_n\right]} = \frac{\delta(1-\alpha_s)^2 (L + \rho b_s + \rho b_n) L}{\alpha_n y_n \left[(1-\alpha_s)(L + \rho b_s + \rho b_n) - \rho b_s\right]^2}$$

$$k_3 = \frac{\delta L}{\alpha_n y_n \theta_{\min}^2 \left[L + \rho b_s + \rho b_n\right]} = \frac{\delta(1-\alpha_n)^2 (L + \rho b_s + \rho b_n) L}{\alpha_n y_n \rho^2 b_n^2}$$

La matrice jacobienne, évaluée à cet équilibre, s'écrit :

$$J^* = \begin{pmatrix} \dfrac{E^*}{b_s + b_n} & 0 \\ \dfrac{\alpha_n y_n L}{kN^*} & -\delta - \dfrac{\alpha_n y_n E^* L}{k(N^*)^2} \end{pmatrix}$$

Son déterminant est négatif, ce qui implique la stabilité de l'équilibre (E^*, N^*) dans le domaine de définition de *k*. Le taux de consommation des BINT à l'équilibre est alors :

$$\theta^* = \sqrt{\frac{\delta L}{k \alpha_n y_n (L + \rho b_s + \rho b_n)}}$$

L'équilibre stationnaire au sein du régime d'évolution industrielle

L'équilibre est défini par :

$$E^* = \frac{\delta(1-\alpha_s)^2 L}{4k\alpha_n \alpha_s^2 y_n} \left[\sqrt{1 + \frac{4k\alpha_s \alpha_n y_n (L + \rho b_n)}{\delta(1-\alpha_s)^2 L}} - 1\right]^2$$

$$N^* = \frac{\delta(1-\alpha_s) L}{2k\alpha_s} \left[\sqrt{1 + \frac{4k\alpha_s \alpha_n y_n (L + \rho b_n)}{\delta(1-\alpha_s)^2 L}} - 1\right]$$

Les conditions d'apparition de l'équilibre et le domaine de définition de k sont :

$$\frac{L}{k} < N^* < \frac{L}{k\theta_{\max}}, \qquad k_1 < k < k_2 \qquad k_1 = \frac{\delta L}{\alpha_n y_n (L + \rho b_n)}$$

La matrice jacobienne, évaluée pour cet équilibre, s'écrit :

$$J^* = \begin{pmatrix} \frac{(1-\alpha_s)E^* L}{k b_n N^*} + \frac{\alpha_s E^*}{b_n} & -\frac{(1-\alpha_s)(E^*)^2 L}{k b_n (N^*)^2} \\ \frac{\alpha_n y_n L}{k N^*} & -\delta - \frac{\alpha_n y_n E^* L}{k (N^*)^2} \end{pmatrix}$$

Son déterminant est négatif car après développement et réduction, nous obtenons :

$$\det(J^*) = -\frac{\delta(1-\alpha_s)E^* L}{k b_n N^*} - \frac{\delta \alpha_s E^*}{b_n} - \frac{\alpha_s \alpha_n y_n (E^*)^2 L}{b_n k (N^*)^2} < 0$$

La stabilité de l'équilibre (E^*, N^*) est donc assurée, dans le domaine de définition de *k*. Le taux de consommation des BINT à l'équilibre est alors :

$$\theta^* = \frac{\delta(1-\alpha_s)L}{2k\alpha_n y_n (L + \rho b_n)} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4k\alpha_s \alpha_n y_n (L + \rho b_n)}{\delta (1-\alpha_s)^2 L}} \right]$$

La figure 3 représente le diagramme de phase lorsque $k \in \left]k_1, k_2\right]$. Quel que soit le stock de BINT initial, N_0, l'équilibre stable atteint reste toujours le même pour une valeur de *k* donnée. En revanche, le régime initial étant fonction de N_0 $(\theta_0 = L / k N_0)$ la trajectoire de l'économie pour rejoindre l'attracteur est différente.

Envisageons par exemple le cas où le stock de BINT initial est suffisamment élevé :

$$\frac{L}{k\theta_{\max}} < N_0 < \frac{L}{k\theta_{\min}}$$

L'économie se situe initialement sur la trajectoire-selle du régime de démarrage industriel. Le long de cette trajectoire, le stock de BINT décroît (effet de l'obsolescence) et le taux de consommation des BINT s'accroît jusqu'à atteindre $\theta_{\max}$. L'économie connaît alors l'évolution industrielle et elle rejoint l'équilibre endogène de long terme. Dans cette dernière phase, le revenu des consommateurs diminue mais le taux de croissance de la consommation augmente jusqu'à ce que l'attracteur soit rejoint.

L’équilibre stationnaire au sein du régime extrême d’évolution industrielle

L’équilibre est défini par :

$$E^* = L + \rho b_n \qquad N^* = \frac{\alpha_n y_n (L + \rho b_n)}{\delta}$$

La condition d’apparition de ce régime et le domaine de définition de k sont :

$$N^* \leq \frac{L}{k} \qquad k \leq k_1$$

La matrice jacobienne évaluée pour cet équilibre s’écrit :

$$J^* = \begin{pmatrix} \dfrac{E^*}{b_n} & 0 \\ \alpha_n y_n E^* & -\delta \end{pmatrix}$$

Son déterminant est négatif, ce qui implique la stabilité de l’équilibre (E^*, N^*) pour un taux de consommation des BINT de 1 à l’équilibre.

Annexe 3 : les conditions relatives au progrès technique

En présence de progrès technique, le taux de croissance de la consommation est donné par la formule (1.25). Le différentiel de productivité Δ en faveur du secteur des BINT est de nature à rendre g^P croissante en fonction de θ ; autrement dit, le paradoxe de l'innovation lié aux régimes de stagnation industrielle et de démarrage industriel est alors surmonté. Nous étudions donc ici les conditions qui rendent g^P croissante :

$$\theta \in [0, \theta_{\min}] \qquad \Delta_1 + \frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta) > 0$$

$$\theta \in]\theta_{\min}, \theta_{\max}[\qquad \theta_{\min} < \theta_m \qquad \Delta_2 + \frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta) > 0$$

On obtient, pour le régime de stagnation industrielle :

$$\frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta) = -\frac{1-\alpha_s}{\alpha_s}\gamma_s + (1-\theta)\left(\frac{1-\alpha_s}{\alpha_s}\right)\frac{\partial \gamma_s}{\partial \theta} = -\frac{1-\alpha_s}{\alpha_s}\gamma_s - (1-\theta)\frac{(1-\alpha_s)^2\alpha_n(L+\rho b_s)}{\alpha_s b_s[1-(1-\alpha_n)\theta]^2} < 0$$

Cette fonction est négative et est croissante en fonction de θ car :

$$\frac{\partial^2 g}{\partial \theta^2}(\theta) = \frac{2(1-\alpha_s)^2\alpha_n^2(L+\rho b_s)}{\alpha_s b_s[1-(1-\alpha_n)\theta]^3} > 0$$

En conséquence, il faut et il suffit que le différentiel de productivité soit supérieur au taux de décroissance de g au moment du choc technique. La première condition est donc équivalente à :

$$\Delta_1 > -\frac{\partial g}{\partial \theta}(0) \quad \Leftrightarrow \quad \Delta_1 > \frac{1-\alpha_s}{\alpha_s b_s}\left[(1-\alpha_s)(1+\alpha_n)(L+\rho b_s) - \rho b_s\right]$$

Nous avons vu, pour le régime de démarrage industriel, que la fonction g est décroissante et admet un minimum en $\theta = \theta_m$; sa dérivée est négative sur $]\theta_{\min}, \theta_m[$ et s'avère être croissante en fonction de θ, compte tenu de :

$$\frac{\partial^2 g}{\partial \theta^2}(\theta) = 2(L+\rho b_s+\rho b_n)\left(\frac{(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s} + \frac{(1-\alpha_n)^2}{\alpha_n b_n}\right) > 0$$

En conséquence, il faut et il suffit que le différentiel de productivité soit supérieur au taux de décroissance de g au moment d'entrer dans le régime de démarrage industriel. La deuxième condition est donc équivalente à :

$$\Delta_2 > \lim_{\theta \to \theta_{\min}} \frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta) \Leftrightarrow \Delta_2 > \frac{2(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s} L - \frac{2(1-\alpha_s)^2 \alpha_n b_n}{\alpha_s (1-\alpha_n) b_s} \rho - \left(2 + \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\alpha_s} - 2\alpha_s \right) \rho$$

Ces deux conditions s'écrivent finalement :

$$\Delta > Max\{\Delta_{1,\min}, \Delta_{2,\min}\}$$

avec $$\Delta_{1,\min} = \frac{1-\alpha_s}{\alpha_s b_s} \left[(1-\alpha_s)(1+\alpha_n)(L+\rho b_s) - \rho b_s \right]$$

$$\Delta_{2,\min} = \frac{2(1-\alpha_s)^2}{\alpha_s b_s} L - \frac{2(1-\alpha_s)^2 \alpha_n b_n}{\alpha_s (1-\alpha_n) b_s} \rho - \left[2 + \frac{1}{\alpha_n} - \frac{1}{\alpha_s} - 2\alpha_s \right] \rho$$

Lorsque le différentiel de productivité Δ vérifie cette dernière condition, la fonction g^P est toujours croissante en θ. Dans ce cas, le choc de productivité permet de surmonter le paradoxe de l'innovation. Bien évidemment, si $\theta_m \leq \theta_{\min}$, il suffit que le différentiel de productivité $(\Delta > \Delta_{1,\min})$ soit suffisamment important au moment du choc technique.

Annexe 4 : Une étude en statique comparative

L'étude de l'effet d'une variation des paramètres d'un pays sur le régime de long terme permet de discuter des facteurs favorisant l'émergence d'une évolution vers le meilleur régime (évolution industrielle) ou d'une révolution industrielle.

Si le goût pour la diversité au sein des BS s'accroît (α_s diminue), le seuil de renoncement à l'innovation en BS ($\theta_{\max}$) s'élève, l'autre seuil $(\theta_{\min})$ étant invariant. Le revenu du consommateur (E) augmente dans le régime d'évolution industrielle alors qu'il est invariant dans les autres régimes. Quel que soit le régime de croissance, le taux d'innovation dans les BS (γ_s)augmente ; le taux d'innovation dans les BINT (γ_n) augmente dans le régime d'évolution industrielle, reste inchangé dans le régime de démarrage industriel. Quel que soit le régime de croissance, le taux de croissance de la consommation (g) augmente. Du fait que k_1 et k_3 sont inchangés, mais que la valeur de k_2 diminue, l'évolution industrielle se produit moins aisément. Dans le régime d'évolution industrielle, le taux de consommation des BINT à l'équilibre (θ^*) diminue tandis qu'il reste inchangé dans le régime de démarrage industriel.

Si le goût pour la diversité au sein des BINT s'accroît (α_n diminue), le seuil de développement de l'innovation en BINT ($\theta_{\min}$) s'abaisse, l'autre seuil $(\theta_{\max})$ étant invariant. Le revenu du consommateur (E) augmente dans le régime de stagnation industrielle, alors qu'il est invariant dans les autres régimes. Quel que soit le régime de croissance, le taux d'innovation dans les BINT (γ_n) augmente ; le taux d'innovation dans les BS (γ_s) augmente dans le régime de stagnation industrielle, reste inchangé dans le régime de démarrage industriel. Quel que soit le régime de croissance, le taux de croissance de la consommation (g) augmente. Du fait que toutes les valeurs de k augmentent, l'évolution industrielle comme le démarrage industriel s'installent plus aisément. Dans les régimes de démarrage industriel et d'évolution industrielle, le taux de consommation des BINT à l'équilibre (θ^*) augmente.

Si la préférence pour le présent (ρ) diminue, la plage du régime de démarrage industriel s'étend ($\theta_{\min}\downarrow$, $\theta_{\max}\uparrow$). Quel que soit le régime de croissance, le revenu du consommateur (E) diminue. Hors du régime de démarrage industriel, les taux d'innovation (γ_l) et le taux de croissance de la consommation (g) augmentent. Du fait que k_1 et k_3 augmentent, l'évolution industrielle extrême et l'évolution industrielle s'installent plus aisément. Dans les régimes de démarrage industriel et d'évolution industrielle, les taux de croissance des BINT à l'équilibre (θ^*) augmentent. Si le coût de la recherche en BINT est faible ($b_n \le \frac{\alpha_s}{1-\alpha_s} b_s$)[23], k_2 diminue. Si cette condition n'est pas vérifiée, l'évolution de k_2 s'avère complexe.

Si l'offre de travail (L) s'accroît, la plage du régime de démarrage industriel s'étend ($\theta_{\min}\downarrow$, $\theta_{\max}\uparrow$). Quel que soit le régime de croissance, le revenu du consommateur (E) s'accroît ; les taux d'innovation (γ_l) ainsi que le taux de croissance de la consommation (g) augmentent. Du fait que k_1 et k_3 augmentent, l'évolution industrielle (extrême) et le démarrage industriel se manifestent plus aisément. Dans les régimes de démarrage industriel et d'évolution industrielle, les taux de consommation des BINT à l'équilibre (θ^*) diminuent. Si le coût de la recherche en BINT est faible ($b_n \le \frac{\alpha_s}{1-\alpha_s} b_s$), k_2 diminue[24]. En définitive, l'accroissement de l'offre de travail favorise le démarrage industriel ; l'effet est contrasté vis-à-vis de l'évolution industrielle.

Si la recherche pour les BS nécessite un coût plus élevé (b_s augmente), alors les seuils de basculement de la recherche diminuent, donc l'innovation de BS est plus difficile à maintenir. Dans les régimes de stagnation industrielle et de démarrage industriel, le revenu du consommateur (E) s'accroît tandis qu'il reste inchangé dans le régime d'évolution industrielle. Le taux d'innovation dans les BS (γ_s) diminue dans les régimes de stagnation industrielle et de démarrage industriel ; le taux d'innovation dans les BINT (γ_n) augmente dans le régime de démarrage industriel et reste inchangé dans le régime d'évolution industrielle. Le taux de croissance de la consommation (g) diminue dans le régime de stagnation industrielle et reste inchangé dans le régime d'évolution industrielle[25]. Du fait que k_1 est inchangé, mais que k_2 et k_3 augmentent, l'évolution industrielle comme le démarrage industriel s'installent plus aisément. Dans le régime d'évolution industrielle, le taux de consommation à l'équilibre (θ^*) reste inchangé tandis qu'il diminue dans le régime de démarrage industriel.

---

[23] Compte tenu de l'hypothèse $b_n > b_s$, la condition $\alpha_s > 0,5$ s'impose.

[24] Voir la note précédente

[25] L'évolution de g dans le régime de démarrage industriel s'avère complexe.

Si la recherche pour les BINT nécessite un moindre coût (b_n diminue), alors les seuils de basculement de la recherche diminuent, donc l'innovation de BS est plus difficile à maintenir. Dans les régimes de démarrage industriel et de révolution industrielle, le revenu du consommateur (E) augmente ; il reste inchangé dans le régime de stagnation industrielle. Le taux d'innovation dans les BS (γ_s) diminue dans le régime de démarrage industriel et reste inchangé dans le régime de stagnation industrielle ; le taux d'innovation dans les BINT (γ_n) augmente dans les régimes de démarrage industriel et d'évolution industrielle. Le taux de croissance de la consommation (g) augmente dans le régime d'évolution industrielle et reste inchangé dans le régime de stagnation industrielle[26]. Du fait que toutes les valeurs–seuils de k augmentent, l'évolution industrielle se produit plus aisément. Dans les régimes d'évolution industrielle et de démarrage industriel, les taux de consommation des BINT à l'équilibre (θ^*) augmentent.

Si le taux d'obsolescence (δ) augmente, les seuils de basculement de la recherche, le revenu des consommateurs (E), le taux de croissance de la consommation (g) et les taux d'innovation (γ_l) restent inchangés. Du fait que les valeurs-seuils de k augmentent toutes, l'évolution industrielle (y compris extrême) comme le démarrage industriel s'installent plus aisément. Dans les régimes d'évolution industrielle et de démarrage industriel, les taux de consommation des BINT à l'équilibre (θ^*) augmentent.

Les facteurs favorables à l'émergence de l'évolution industrielle[27] sont donc un goût moins prononcé pour la diversité au sein des BS, un goût plus prononcé pour la diversité au sein des BINT, un coût de recherche plus élevé en BS, un coût de recherche moindre en BINT ou un taux d'obsolescence plus élevé. Dans le régime d'évolution industrielle, le taux de consommation des BINT à l'équilibre s'élève lorsque ces facteurs sont mis en œuvre, à l'exception du coût de recherche en BS, pour lequel il est insensible.

[26] L'évolution de g dans le régime de démarrage industriel s'avère complexe.

[27] Ce sont évidemment ceux qui impliquent une augmentation du facteur k_2, le facteur k_1 augmentant ou restant stable.