



HAL
open science

Ingénieurs et formalisation : X-Crise et le débat sur la méthode dans les années trente

Marianne Fischman, Emeric Lendjel

► To cite this version:

Marianne Fischman, Emeric Lendjel. Ingénieurs et formalisation : X-Crise et le débat sur la méthode dans les années trente. Colloque de l'Association Charles Gide pour l'Etude de la Pensée Economique, Association Charles Gide pour l'Etude de la Pensée Economique, Sep 1999, Grenoble (38000), France. halshs-04016386

HAL Id: halshs-04016386

<https://shs.hal.science/halshs-04016386>

Submitted on 13 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ingénieurs et formalisation : X-Crise et le débat sur la méthode dans les années trente

Marianne Fischman et Emeric Lendjel*

X-Crise est une association de l'école Polytechnique dont le sigle désignait initialement le "Centre de Renseignements et d'Informations Sociales et Économiques" avant de devenir le "Centre Polytechnicien d'études économiques". Cette association fut constituée entre 1931 et 1939, avec pour but de réfléchir sur la nature, les causes et les solutions éventuelles de la crise. Très rapidement, le sentiment de l'inadéquation des théories économiques aux problèmes s'impose dans l'esprit des fondateurs de ce groupe. De là résulte une volonté de faire table rase des conceptions antérieures et de porter un "regard neuf" sur la "machine" économique. Un certain nombre de contributions vont être proposées en ce sens : le modèle des frères Georges et Edouard Guillaume, ou encore celui de François Moch. Ce regard neuf conduit X-Crise à engager une réflexion méthodologique approfondie sur l'économie politique et particulièrement sur son emploi des mathématiques. Les polytechniciens ambitionnent en effet d'étudier les phénomènes économiques en véritables scientifiques, à la fois dans la méthode et les concepts. X-Crise est en cela supposée être, "«un centre de confluence», de discussion sans passion, d'examen objectif et désintéressé des problèmes du monde moderne, posés et traités par la méthode scientifique à laquelle les polytechniciens avaient été formés" (Nicoletis [1967], p. 19). C'est dans cette perspective qu'il convient de comprendre l'intérêt des polytechniciens pour les questions de méthode et la position des ingénieurs polytechniciens quant à la construction de modèles formels en économie.

L'objet de cette communication est de montrer l'importance accordée par les polytechniciens à l'économie mathématique, et plus particulièrement à la modélisation, dès lors qu'elle s'accompagne d'un souci de l'empirie. Cette spécificité d'X-Crise, qui marquera les travaux des ingénieurs-économistes français pour les années à venir (Pénin, Zylberberg [1990], pp. 56-57). Elle explique en

* Respectivement membres du C. L. E. R. S. E., Université de Lille I et du G. R. E. S. E., Université de Paris I.

particulier leur rejet de "l'économie pure" au profit d'une approche qui allie - à l'instar du projet économétrique - concepts économique, faits statistiques et modèles mathématiques.

Cet alliage est explicité lors des débats méthodologiques organisés au sein d'X-Crise. Nous présenterons ainsi ces débats dans une première partie, en tentant d'en retracer le cours particulièrement sinueux. Nous verrons que *in fine* tous les auteurs se retrouvent pour récuser la valeur scientifique d'une théorie purement déductive. La deuxième partie sera consacrée à leur pratique modélisatrice. Il apparaît, en effet, que X-Crise constitue un moment original sur ce point, si l'on reprend la distinction établie par Israel [1996] entre modélisation "classique" et "moderne". Nous montrons d'abord que le basculement décrit par Israel s'est opéré en France au sein d'X-Crise. Nous chercherons ensuite à comprendre pourquoi les polytechniciens ont développé de nouveaux modèles sans tomber dans le travers de la "métaphore mathématique" signalé par Israel comme étant le défaut de la modélisation moderne (Israel [1996], p. 50).

1. L'historique du débat méthodologique

Trois phases marquent le débat sur l'utilisation des mathématiques en économie, pour X-Crise. La première provient des prises de position de Rueff, en 1922, qui suscite les premières réflexions méthodologiques dans le milieu des polytechniciens avant la constitution de X-Crise. Le débat se focalise sur la question de la possible mise en équation de la liberté humaine. La deuxième phase (1933-1935) tire les implications politiques de ce problème. Une connexion surprenante s'établit alors avec l'eugénisme. La troisième phase (1937-38) marque l'irruption d'universitaires dans le débat, comme Bloch ou Halbwachs, obligeant les polytechniciens à préciser le rôle qu'ils accordent aux mathématiques en économie. Ce sont ces trois phases que nous allons aborder successivement.

1.1. Premières réflexions méthodologiques sur l'emploi des mathématiques

Les réflexions méthodologiques sur l'emploi des mathématiques en économie au sein de la communauté polytechnicienne et, plus généralement, de ceux (polytechniciens ou non) qui feront partie d'X-Crise, préexistent à la constitution de l'association et aux conférences et débats en son sein. L'ouvrage de

Rueff [1922], les travaux des frères Guillaume [1932] et [1937] ainsi qu'un article de Le Chatelier [1930], publié dans *X Information*, en témoignent.

La thèse développée par Rueff - et qui dominera par la suite également au sein d'X-Crise - consiste à défendre l'emploi des mathématiques en économie à condition qu'il s'accompagne de "la constatation empirique des faits, par voie statistique" (Rueff [1922], p. 13). Il s'agit, grâce aux mathématiques, "de dégager des relations permanentes entre faits économiques mesurés par voie statistique" (*idem.*). Le recours aux mathématiques, doit permettre de procéder à une "explication logique" (*ibid.*) des faits économiques statistiques, constituant de par cette alliance "une théorie économique rigoureuse" (*ibid.*). Mais, au delà de ce consensus, transparait un débat sur l'antinomie entre liberté humaine et mathématisation que l'on rencontre à partir de 1922, date de parution de l'ouvrage de Rueff *Des sciences physiques aux sciences morales*, jusqu'à la fin de X-Crise.

Le contexte du débat : l'ouvrage de Rueff (1922)

La conception articulant modèle théorique et statistique est clairement exprimée, dès 1922, par Rueff, polytechnicien disciple du titulaire de la chaire d'économie politique à l'école à cette époque, Clément Colson. Tenant de l'unité méthodologique pour les sciences, Rueff est convaincu qu'il faut transposer les méthodes "des sciences physiques aux sciences morales". Il défend ainsi, tout comme après lui les frères Guillaume, l'idée "d'un parallélisme de méthode entre théorie économique et théorie physique" (*ibid.* p. 13; voir aussi p. 116). Ce parallélisme autorise le recours à l'emploi des mathématiques en économie, tout en impliquant un

"constant souci de vérification expérimentale [...] aucun principe théorique n'étant admis et ne restant tenu pour valable qu'autant que les conséquences qu'on en peut déduire se trouvent confirmées par des faits précis et rigoureusement établis" (*ibid.*, p. 13 et p. 143).

Il reste que Rueff est conscient des réticences qui s'expriment à l'encontre de la mathématisation de l'économie. Il relève ainsi trois arguments allant en ce sens :

"[L]'économie politique ne serait pas passible des mathématiques, parce que trop de facteurs déterminent ses phénomènes, parce que nous ne les connaissons pas tous et ne pouvons les traduire en nombres, enfin et surtout parce que le libre arbitre des

individus exerce une influence que nous ne pouvons prévoir" (Rueff [1922], p. 144).

De ces trois arguments, seul le dernier retient son attention puisqu'il existe déjà, selon lui, des lois incontestables en économie, rendant les deux premières objections caduques. En effet,

"[t]oute la question est de savoir s'il y a des lois économiques, non quels facteurs les déterminent. Or, l'existence de ces lois nous paraît certaine" (*ibid.*)

Le troisième argument reviendra de manière récurrente au sein d'X-Crise, comme en témoigne sa formulation par Le Chatelier en 1930.

"Le caractère essentiel des sciences proprement dites, c'est-à-dire des sciences mathématiques et des sciences physiques, est l'existence de lois soumises au déterminisme, autrement dit de relations numériques inéluctables entre grandeurs mesurables, identiquement vraies dans tous les temps et dans tous les lieux. Or, en économie politique, le libre arbitre de l'homme est contradictoire avec le déterminisme et, de plus, il n'y existe aucune grandeur mesurable" (Le Chatelier [1930], p. 115).

Liberté humaine, déterminisme, hasard, tous ces arguments et leurs avatars seront déployés au plus fort du débat de 1937-1938.

Rueff avance, dès 1922, une réfutation originale pour l'époque, qui n'est pas sans évoquer celle que développera trente ans plus tard Milton Friedman.

Elle repose sur la méthode nécessaire pour élaborer des lois en économie. L'observation statistique permet d'inférer des lois empiriques, affirme Rueff. Mais,

"[c]es lois n'expriment rien de plus qu'un rapport de succession, empiriquement observé. Or, nous voulons en faire des lois logiques, l'expression de rapports qui eussent pu se déduire de la connaissance d'êtres, identiques à eux-mêmes, constituant la nature des choses" (*ibid.*, p. 143)

Il s'agit donc d'obtenir, à partir d'axiomes et de définitions, une loi obtenue par voie déductive dont les conclusions reproduisent les "lois empiriques".

"Et prolongeant la théorie ainsi construite, nous en tirons des lois nouvelles que l'observation confirme ou infirme. Dans le premier

cas la théorie logique reste vraie. Nous disons que les causes créées le sont également [...]. Lorsque la coïncidence des conséquences avec les lois observées n'a plus lieu, la théorie reste logique, elle n'est plus vraie" (*ibid.*, p. 143).

Rueff développe ainsi une conception "instrumentale" de la connaissance, où seules les conséquences - ou conclusions - doivent correspondre aux phénomènes, les hypothèses étant épargnées de toute confrontation à l'empirie.

Muni de cette conception méthodologique, Rueff est alors en mesure de répondre à l'objection de la nature imprévisible de l'homme.

"Qu'importe alors le rôle de la liberté dans la vie humaine ? Les lois connues, nous ne nous préoccupons pas d'en découvrir les causes, problème dépourvu de sens, mais seulement de les créer. Et lorsque certaines causes permettent de retrouver par voie déductive les lois empiriquement découvertes, ces causes sont bonnes, quelles que soient les idées qu'on puisse avoir sur la nature physique ou morale des individus, libres ou non" (*ibid.*, p. 144).

Si la liberté humaine ne saurait être mise en équation, cela n'a donc, au fond, pas d'importance réelle. Le comportement maximisateur de l'homme n'est qu'une hypothèse formulée de manière à retrouver déductivement des phénomènes observés.

Notons accessoirement, que si les lois économiques ne permettent pas de retrouver les lois empiriques, c'est en raison de "causes perturbatrices" :

"si, dans certaines circonstances, les lois économiques cessent d'être vérifiées, on essaiera de les conserver en imaginant des phénomènes accessoires, dus à des causes perturbatrices choisies à cet effet. L'absence de concurrence et le manque de publicité dans les échanges jouent ainsi, en économie politique, le rôle des frottements en mécanique et permettent de faire rentrer dans un symbole unique une multitude de facteurs que nous ignorons" (p. 144).

La prise en compte de ces causes perturbatrices pour préserver les lois économiques est alors en contradiction avec les principes méthodologiques qu'il a exposé quelques lignes plus haut.

Mais là n'est pas la question. Il est plus important de remarquer que si les hypothèses sont secondaires par rapport aux lois obtenues par voie statistique, le recours aux mathématiques n'est plus indispensable. Cela conduit Rueff à devoir argumenter en faveur de l'emploi des mathématiques. Les arguments qu'il avance sont, encore une fois, originaux pour l'époque. Après avoir classiquement souligné les limites de la "forme syllogistique" - qui sont "long et pénibles" - par rapport à la "forme analytique", Rueff en souligne la limite principale :

"la complication du procédé empêche qu'on puisse indéfiniment rapprocher les résultats nouvellement acquis, des axiomes ou des propositions déjà démontrées. De ce fait, le cours des déductions se trouve arrêté, avant qu'on ait pu retrouver toutes les apparences de la vie économique" (*ibid.*, p. 145).

Avec la forme analytique, au contraire, en plus de la rigueur et de la cohérence qu'elle procure, le raisonnement et les connaissances peuvent acquérir un caractère cumulatif :

"on peut, en définissant un certain nombre de symboles et en posant deux axiomes seulement, retrouver d'une manière simple et rigoureuse toutes les lois empiriques déjà connues. On édifie ainsi l'économie politique mathématique, qui présente sur l'économie politique ordinaire, outre la précision de sa forme, l'immense avantage de comporter un développement infini" (*ibid.*).

Axiomes et raisonnements mathématiques peuvent ainsi être repris et développés à "l'infini".

L'objection de Le Chatelier

Comme nous l'avons déjà évoqué, Le Chatelier [1930] s'oppose à Rueff sur la question de la liberté humaine. Sans répondre sur le fond aux positions méthodologiques de Rueff, Le Chatelier avance une objection à l'analogie conceptuelle et formelle entre physique et économique :

"[o]n répond à la première objection que le libre arbitre disparaît lorsqu'au lieu de considérer des hommes isolés, on envisage des multitudes d'hommes, des foules. Les conditions seraient analogues à celles d'une masse gazeuse, où les mouvements de sens contraire des molécules se compensent; l'ensemble peut alors obéir à des lois fixes, à celles de Pascal, de Mariotte, de

Gay-Lussac. La comparaison est fautive, car les molécules ne peuvent modifier leurs mouvements, et les diriger tous dans le même sens; [...] Dans le cas des hommes, les mouvements, mêmes ceux d'ensemble, ne sont plus indéterminés : ils obéissent à la volonté de ces hommes, et cette volonté, même dans une foule, peut être orientée dans une direction déterminée, variable d'une masse à une autre" (Le Chatelier [1930], p. 115).

Le Chatelier récuse ainsi l'idée qu'un déterminisme pourrait résulter de la liberté individuelle. Il ne saurait y avoir de phénomènes collectifs que l'on pourrait caractériser par des lois puisqu'au fond, l'individuel tout comme le collectif échappent au déterminisme. Par conséquent, l'économie ne peut être caractérisée par des lois immuables, universelles en tout temps et tout lieu, susceptibles d'une formulation mathématique :

"Comparons, par exemple, une masse d'ouvriers anglais, une d'ouvriers américains et une d'ouvriers arabes. Placés dans les mêmes conditions, devant une tâche à accomplir, ils vont réagir de façon tout à fait différente. L'ouvrier anglais flânera systématiquement, avec l'idée qu'en travaillant peu il laisse du travail disponible pour ses camarades chômeurs, quand, en réalité, il accroît le chômage par l'élévation des prix de revient. L'ouvrier américain travaillera dur, de façon à gagner le plus possible, étant convaincu que le bonheur de la communauté est la somme des bonheurs individuels des membres de cette communauté. Enfin l'ouvrier arabe, qui considère le travail comme un déshonneur, forcera à coups de trique sa femme à travailler à sa place et il se roulera dans son burnous pour aller dormir au soleil. Les masses humaines sont bien loin de présenter l'identité de propriété des masses gazeuses. Comment leur trouver des lois immuables?" (Le Chatelier [1930], p. 115).

Les variétés socioculturelles témoignent ainsi de l'impossibilité d'élaborer en économie des lois universelles.

Les Guillaume dans le sillage de Rueff

A l'instar de Rueff, les frères Guillaume estiment qu'il est nécessaire d'utiliser en économie la même méthode qu'en physique car cette dernière est la seule permettant un véritable essor des sciences.

"[L]orsqu'un ingénieur, un physicien, un astronome élabore une théorie mathématique, il ne poursuit qu'un but : trouver des relations qu'on peut soumettre immédiatement au contrôle de l'expérience. Seule est féconde une semblable théorie. Toute autre, si harmonieuse et attrayante soit-elle, tombe inévitablement dans l'oubli. Or, des théories de Walras et de Pareto, il serait très difficile de tirer des résultats pouvant faire l'objet d'une vérification numérique. Elles ne pourraient même pas servir de fil conducteur à un plan de recherches statistiques des phénomènes économiques" (*ibid.*, p. 43).

Cette unité de méthode signifie tout d'abord l'utilisation des mathématiques en économie pour élaborer une théorie rigoureuse. La théorie doit ensuite être empiriquement vérifiée. Tout comme pour Rueff, l'économie doit reposer "sur un certain nombre de principes qui permettent de déduire, par le raisonnement, en particulier par les mathématiques, toutes les conséquences que l'expérience peut ensuite vérifier" (Guillaume [1932], p. 62 et [1937], p. 241).

Mais, selon les Guillaume, l'application de la méthode scientifique s'est heurtée aux réticences des économistes :

"la complexité des phénomènes, d'une part, et certaines idées métaphysiques, d'autre part, telles que celles de "libre arbitre" ont jusqu'ici mis une entrave insurmontable à l'application de la méthodologie scientifique à l'économie" (Guillaume [1932], p. 62).

Renversant l'argument de la complexité, les Guillaume en tirent avantage pour justifier l'emploi des mathématiques :

"seule, l'analyse mathématique, en condensant en formules facilement saisissables l'ensemble des opérations comptables, permettra de dominer le problème" (Guillaume [1937], p. 41).

Reste l'argument de la liberté humaine, contre lequel les Guillaume reprennent les thèses de Rueff. L'ultime avantage des mathématiques réside enfin dans la cohérence, car leur usage permet de déceler les cercles vicieux dans les raisonnements (*ibid.*, p. 10).

La position commune au début de X-Crise

Cette position favorable à l'emploi des mathématiques en économie se retrouve alors au sein des travaux des polytechniciens rassemblés à X-Crise. Ainsi,

Boris [1933] souligne, dans sa présentation des conférences des frères Guillaume, la facilité de compréhension des principes économiques que permet l'utilisation des mathématiques en économie (Boris [1933], p. 3). Ce mérite est également noté par Gibrat [1935] qui ajoute que la notation mathématique a l'avantage d'exiger une énumération complète des éléments entrant en relation et qu'elle permet de s'assurer que l'on ne néglige l'action d'aucun facteur (Gibrat [1935], p. 5). Pourquoi [1936], quant à lui, remarque

"quel indispensable secours, la logique mathématique apporte au chercheur en lui proposant des formules cohérentes et compatibles entre elles. S'il faut se défier du déroulement automatique de la chaîne des déductions, il faut un guide de cet ordre pour suggérer les hypothèses à vérifier" (Pourquoi [1936], p. 26).

Un consensus paraît donc régner au sein d'X-Crise sur l'intérêt de l'utilisation des mathématiques en économie ainsi que sur "l'importance de la vérification numérique des théories" ainsi construites, comme le rappelle à son tour Divisia ([1934], p. 7).

1.2. 1933-1935 : Les implications politiques de la question de la "mise en équation de la liberté humaine"

Sur cette base, le débat s'oriente d'abord, entre 1933 et 1935, sur les conséquences politiques de l'existence des lois économiques. Il s'agit, selon les termes même de Nicoletis, d'une "période de dégoût ou de dévouement des idées de chacun" (Nicoletis [1967], p. 20). Les idées prolifèrent ainsi sur cet aspect du débat, car derrière la question du déterminisme et des lois économiques se profile celle de la maîtrise possible de la société et de ses crises. La question de méthode acquiert alors une dimension politique.

Kellersohn [1933] est le premier à ouvrir le débat sur cette dimension, dans le bulletin numéro 3 d'avril-mai 1933 :

"notre préoccupation n'est-elle pas de savoir si la crise, et surtout les évolutions organiques économiques dont elle s'accompagne, révèlent à l'analyse le développement d'un véritable déterminisme, ou plus exactement, pour ne pas élargir à l'excès le problème, d'un déterminisme proprement et strictement économique ? [...] Poser ces questions, c'est, en tout premier lieu, et d'emblée, poser la question des responsabilités de la politique dans la crise économique" (Kellersohn [1933], p. 4).

S'il existe des lois en économie qui conduisent inéluctablement à la crise, alors la responsabilité politique ne saurait être engagée. Si, au contraire, il n'existe pas de déterminisme en économie, la responsabilité est alors clairement du côté du politique. Pour Kellersohn, la réponse est sans ambiguïté :

"[c]'est un sujet de discussion que de savoir si, dans une économie normale, il existe un déterminisme scientifique des forces économiques, ou plus exactement s'il y a des lois économiques. [...] S'il est évident que la politique a une part éminente de responsabilité dans la genèse et le développement de la crise, il semble également évident que, par là-même, l'invention d'un déterminisme dans la crise, et plus encore d'un déterminisme économique, soit sujette à caution" (Kellersohn [1933], p. 4).

L'existence de lois économiques sont ainsi considérées comme des "inventions" qui permettent au politique d'éluder ses responsabilités.

Progressivement, les enjeux politiques du débat deviennent plus nets. Dans le numéro suivant (n° 4-5, juillet 1933) le débat se prolonge d'abord par un vif échange entre Simiand - pour lequel "[l]e phénomène économique est un phénomène de vie" (Simiand [1933], p. 21) - et Coutrot, défenseur d'une économie rationnelle, construite sur la base d'une analogie mécanique. Au cours de cette discussion, Vallon en évoque clairement l'enjeu : il s'agit de la maîtrise possible de l'homme et de la société.

"Dans tout le système des courbes, on sent que celles-ci sont liées les unes aux autres mais on ne voit pas très bien quel est le moteur. Tout à l'heure, M. Simiand nous a dit que les liens étaient élastiques entre ces courbes. On ne peut pas arriver à une représentation rationnelle du monde économique si l'on ne tient pas compte du caractère un peu spécial de la psychologie humaine. Mais cependant le fait essentiel au point de vue humain dans la vie économique actuelle, c'est bien la recherche du profit monétaire à laquelle vous faisiez allusion. Je ne veux pas reprendre un vieux bateau marxiste, mais enfin le profit monétaire est le moteur essentiel de l'économie. Comment ce phénomène vital, c'est-à-dire cette série de pulsations économiques pourrait-il se produire dans une économie utopique

qui serait intégralement dirigée par le dictateur absolu dont parlait tout à l'heure le camarade Michel avec effroi" (p. 22).

Coutrot explicitera ses thèses deux ans plus tard, à la suite de la lecture de l'ouvrage d'Alexis Carrel [1935]. L'économie rationnelle porte en elle la transposition du projet cartésien de maîtrise de la nature à celle de l'homme et de la société.

"Depuis Descartes, l'efficacité extraordinaire des méthodes rationnelles s'était montrée avec évidence. L'homme est devenu pratiquement maître de la nature. (...) Les cataclysmes que nous avons encore à redouter, sont ceux d'origine humaine. Qu'il s'agisse de guerre étrangère ou de guerre civile, d'actes isolés de banditisme, de réactions inattendues, nous en venons toujours au même point: c'est que l'homme n'a pas encore dirigé sur lui-même ces techniques additives qui ont fait leurs preuves dans les sciences de la nature" (Coutrot et Gibrat [1935], p. 54).

Au regard des périls qui menacent la société, Coutrot décèle heureusement des motifs de réjouissance, avec notamment l'économie rationnelle.

"Le moment est, par conséquent, extrêmement curieux et décisif: les hommes se décident enfin à se prendre méthodiquement eux-mêmes pour objet de leurs recherches" (*ibid.*, p. 55),

même s'il s'agit d'être

"prudent mais résolu, lorsqu'on veut appliquer à l'homme les méthodes qui ont servi pour construire les sciences de la nature" (*ibid.*, p. 56).

Gibrat perçoit immédiatement les conséquences de ce projet "humaniste" de maîtrise de l'homme. Il presse alors Coutrot de se démarquer de l'eugénisme qu'il entrevoit.

"Je voudrais que tu me montres en quoi ton humanisme se différencie du racisme, si tu rejettes les applications qu'il veut faire des sciences de la nature à l'homme" (*ibid.*, p. 55).

Mais la réponse de Coutrot tente plutôt de présenter sous un jour favorable les thèses eugénistes qu'il emprunte à Alexis Carrel¹.

On comprend alors comment un débat sur la méthode a pu s'ouvrir sur de tels enjeux politiques. En science physique, la méthode mathématique s'est imposée conjointement à la maîtrise technique de la nature, à son "arraisonement", pour reprendre le terme de Heidegger (1954). La transposition des méthodes de la physique aux sciences sociales s'est alors accompagnée de ce projet de "mise à la raison" de l'homme et de la société. Cette transposition est encore plus explicite si l'on se souvient que l'épistémologie adoptée par Carrel et véhiculée au sein de X-Crise par Coutrot, Ullmo et les Guillaume, repose sur l'opérationalisme, c'est-à-dire une conception où la dimension "opérationnelle" et "opératoire" des concepts est mise en avant². La méthode cartésienne transposée aux sciences sociales conduit ainsi Coutrot, "l'homme à la jambe articulée", à défendre un projet de maîtrise du développement de l'humanité: "l'humanisme économique", avatar de l'eugénisme. Mais peu de membres de X-Crise suivront Coutrot sur ce point, même si la question de l'intervention des ingénieurs sur la machine économique reste primordiale. Comme l'exprime Darmois,

"[o]n peut maintenant se demander à quoi tout cela va servir, et s'il est possible dans une certaine mesure de prévoir les phénomènes économiques et d'agir sur eux pour produire un effet déterminé" (Darmois [1937], p. 38).

1.3. Le débat de 1937-38

Le débat se ranime en janvier 1937, à la suite d'une intervention de Pirou, se poursuit dans les deux bulletins suivants et s'achèvera, après une trêve, en novembre 1938. Deux thématiques structurent ce débat: le rôle des faits dans la science économique, et la lancinante antinomie de la loi mathématique et de la liberté humaine.

Le rôle des faits dans la science économique

La première thématique que l'on rencontre dans cette troisième phase du débat porte sur l'abstraction des faits résultant de l'usage des mathématiques. Cela conduit les polytechniciens à exposer une fois encore leur conviction que la

¹ Rappelons également la création par le gouvernement de Vichy, en 1941 d'une "Fondation française pour l'étude des problèmes humains", dirigée par Alexis Carrel (Bonafé et Tort [1992], p. 19).

² Nous reviendrons plus loin sur cette épistémologie.

véritable science, en économie, est celle qui articule mathématique et "faits" statistiques, soit l'économétrie.

Le débat s'ouvre avec une intervention de Gaëtan Pirou [1937], convié à faire une conférence à X-crise sur "l'enseignement de l'économie politique tel qu'il est compris dans les Facultés de Droit" (Pirou [1937], p. 29). Cette intervention se fera "dans une ambiance électrique" (Dard [1995], p. 137), ce qui explique probablement la durée de ce débat. La position de Pirou consiste à s'élever contre une interprétation purement déductive du système économique, et donc contre l'emploi des mathématiques en vue de construire une économie pure, incapable à ses yeux d'assurer la compréhension d'un monde extrêmement complexe (*idem.*, p. 31). En revanche, il pense que les économistes universitaires "entendent partir de la réalité et y aboutir" (*ibid.*) au moyen de monographies, d'études statistiques et sociologiques. C'est à partir de cette "réalité", qu'ils construisent *in fine* des lois montrant ainsi que

"ces lois et ces régularités sont infiniment plus complexes que ne l'avait supposé une interprétation trop hâtive, trop rationnelle, trop mathématique du système économique" (*ibid.*, p. 34).

Enfin, concluant son intervention, Pirou résume la conviction des universitaires par une formule lapidaire :

"[i]ls possèdent une culture économique assez solide pour ne pas se laisser séduire par l'empirisme des rebouteux et l'illusionnisme des charlatans" (*ibid.*, p. 35).

Il n'est alors pas surprenant de voir l'assistance - composée en majorité de "charlatans" - réagir vivement à ces propos.

Darmois [1937] qui intervient immédiatement après Pirou défend ainsi une position beaucoup plus favorable à l'utilisation des mathématiques en économie. Les mathématiques sont, selon lui, essentielles pour déduire correctement, poser les problèmes, raisonner avec rigueur (*idem.*, pp. 36-37). Mais, pour lui aussi,

"si les mathématiques sont d'une aide précieuse pour formuler des idées avec précision, pour développer des moyens de contrôler ces idées, elles ne sauraient avoir la force de donner des idées à qui n'en a pas. On pourra perfectionner des méthodes de calcul, il ne faut pas en tirer trop d'illusions sur la qualité scientifique de la connaissance ainsi atteinte" (*ibid.*, p. 37).

Aussi, pour Darmois, non seulement les mathématiques et mais encore les statistiques doivent être au service de l'économie. Reprenant les thèses déjà développées par Rueff [1922], il défend l'idée que l'économie doit s'appuyer sur l'observation de faits statistiques et se servir des mathématiques pour construire logiquement des théories qui pourraient expliquer ces faits (Darmois [1937], p. 36).

Au cours de la discussion qui suit les interventions de Pirou et de Darmois, Coutrot intervient pour soutenir Darmois contre la position défendue par Pirou, en insistant sur l'idée que les faits ne sauraient être expliqués sans théorie déductive dont les mathématiques facilitent la construction. Pour lui, l'expérience doit seulement, ensuite, permettre de vérifier la théorie (p. 43). Enfin, faisant une réponse du berger à la bergère, Coutrot ne peut s'empêcher, en bon "charlatan", de rétorquer à Pirou :

"J'ai, pour ma part, trouvé un très grand intérêt à ce qu'ont dit MM. Pirou et Darmois, parce que j'ai l'impression que nous assistons à une phase tragique dans l'évolution de l'enseignement de l'économie politique. [...] il est obligé de se transformer très profondément et sinon de disparaître, au moins de se cantonner dans l'histoire des doctrines économiques, dans la mesure encore où cette histoire conserve un intérêt rétroactif" (*ibid.*).

Le "dinosaur" Pirou est ainsi sur la voie de son extinction naturelle au regard du caractère inéluctable, pour Coutrot, de la mathématisation de la discipline.

Le numéro 35 de février 1937 des bulletins de CPEE est l'occasion de faire intervenir deux autres conférenciers - universitaires - dans le débat, Marc Bloch [1937], qui défend la méthode historique, et Halbwachs [1937] qui présente la position du sociologue. Le principal reproche que Halbwachs adresse à l'économie mathématique provient des caractéristiques même de ses raisonnements : l'abstraction. Qu'il s'agisse du sujet économique, considéré abstraitement en dehors de tout lien social, ou de l'absence de toute institution - comme "l'organisation économique monétaire" - (Halbwachs [1937], p. 27), l'économie mathématique est conduite à formuler de ce fait des "lois strictement vides" comme "la loi de l'offre et de la demande" (*ibid.*, p. 28). L'emploi des mathématiques en économie n'intéresse alors que les mathématiciens. Ainsi,

"je persiste à croire que l'Economie mathématique est surtout intéressante à titre d'application des mathématiques, et pour les mathématiciens. Pour nous autres, c'est un roman, un beau roman

d'ailleurs. J'ai lu Cournot, j'ai lu Walras, j'ai lu Pareto, et je dois dire qu'ils ne m'ont pas appris grand'chose sur la réalité même, sur les faits eux-mêmes. Je n'ai pas eu l'impression que cela pût être incorporé à la science positive proprement dite" (Halbwachs [1937], p. 30).

Cette position pour le moins mitigée à l'égard de l'emploi des mathématiques en économie se retrouve dans la discussion suivant l'intervention de Halbwachs sous la plume de Nogaro. Pour lui, en effet, si les mathématiques peuvent être utiles aux économistes, la méthode historique défendue par Bloch reste la plus fructueuse. Elle peut en effet conduire "à une interprétation beaucoup plus vraisemblable et précise que celle que nous offrirait la méthode déductive" (p. 32); en outre, Nogaro souligne, à la suite de Bloch [1937], que le fait historique joue "comme une expérience heureuse de laboratoire" (*idem.*); enfin, la méthode historique offre des "possibilités d'interprétation" impossible avec la méthode déductive (*ibid.*, p. 33), trois thèses également partagées par Lacoïn au cours de cette même discussion.

Pour autant, cette position ne saurait dominer au sein d'X-Crise. Le débat se poursuit ainsi dans le numéro suivant de mars 1937 avec une conférence de Jean Ullmo [1937] qui défend l'utilisation des mathématiques en se plaçant explicitement contre la position de Pirou. L'avantage des mathématiques réside en effet d'abord dans la rigueur qu'elles imposent à l'économie, ensuite en ce qu'elles permettent de remédier au problème de polysémie du vocabulaire et des définitions économiques.

"Nous avons mis l'accent sur deux défauts essentiels de l'économie contemporaine: l'emploi de définitions vagues, et de raisonnements par analogies purement verbales. Ne vaut-il pas mieux chercher des définitions précises, et, si l'on veut des analogies, les prendre dans des modèles comportant une analogie avec la réalité, ayant une ressemblance avec les systèmes réels?" (Ullmo [1937], p. 9).

La solution consiste donc à créer - conformément à la position des positivistes logiques - un langage scientifique (ou mathématique) commun à l'ensemble de la communauté des économistes sans laquelle la science serait, selon lui, impossible.

"Et ainsi apparaît en science économique la nécessité, l'urgence d'un travail préalable : préciser les définitions, déterminer les

éléments des phénomènes économiques à soumettre à la mesure, en un mot créer un langage commun et non contradictoire sur quoi la science puisse se fonder" (Ullmo [1937], p. 9).

Ullmo suit en cela les recommandations toutes récentes des "Congrès Internationaux pour l'Unité de la Science", émanation institutionnelle du positivisme logique dont le premier congrès s'est tenu à Paris, à la Sorbonne, en septembre 1935³. Un encart publicitaire pour ce congrès figure même à la dernière page du *Bulletin du C. P. E. E.* n° 24-25, daté de juillet-août 1935, dans lequel on trouve le passage suivant :

"[L]e Congrès de Paris s'efforcera de définir les méthodes et la nature de la connaissance scientifique (logique de la science, syntaxe logique du langage scientifique, empirisme scientifique, pseudo-problèmes dus au langage, etc....)".

Pour Ullmo, la constitution d'un langage commun n'est qu'une étape pour que l'économie devienne une science. Il lui reste à élaborer une véritable axiomatique en économie, contrôlée par l'expérience statistique (Ullmo [1937], p. 9). Sans cela, le modèle encours un risque majeur exprimé par Divisia en 1938 à la suite de Gide :

"Comme on l'a fort bien dit, a écrit Charles Gide, «les mathématiques ne sont qu'un moulin qui rend à l'état de farine le blé qu'on lui apporte, mais reste à savoir ce que vaut ce blé» (Gide et Rist, *Histoire des doctrines économiques*, 1920, p. 643)" (Divisia [1938], p. 193).

C'est pour éviter ce risque que les polytechniciens tombent d'accord sur la nécessité d'un recours aux statistiques. C'est sur cette position que vont s'achever, avec une conférence de René Roy, les discussions sur ce thème à X-Crise. L'"économie scientifique" ([1938], p. 12) est en effet, selon lui,

"comme un pont jeté entre ces deux conceptions opposées, car elle s'efforce à la fois, d'utiliser les procédés qui ont fait leur preuve dans le domaine de la physique et de recourir également à

³ Notons que les positions épistémologiques que développe Ullmo en 1969 témoignent d'influences multiples. On trouve dans cet ouvrage les traces de l'opérationalisme de Bridgman, la marque de l'empirisme logique du Cercle de Vienne, ainsi que de larges extraits des travaux de Bachelard.

l'observation des faits, par un usage systématique et rationnel des procédés statistiques" (Roy [1938], p. 17).

On retrouve ainsi la position défendue depuis le départ au sein d'X-Crise d'une science économique qui soit à la fois mathématique et statistique.

Le retour de l'antinomie de la loi et de la liberté humaine

Le second thème est celui, récurrent, sinueux, du "facteur humain" comme obstacle à la mathématisation de l'économie. Ce facteur est en effet abordé sous tous les angles pour constituer le même obstacle; après la liberté survient la psychologie, le caractère particulier des institutions sociales, l'inscription sociale de l'homme ou sa complexité, le hasard qu'il génère.... Le "facteur humain" insiste sans relâche, porté principalement par les universitaires tentant de résister à la pression méthodologique des ingénieurs polytechniciens, même si, comme on l'a vu, la position des ingénieurs n'est pas favorable à la seule utilisation des mathématiques.

On retrouve cette thématique dès la première intervention de Pirou, sous la forme suivante :

"la psychologie réelle des individus en société s'écarte très sensiblement du schéma de l'*homo-oeconomicus*, qu'elle est soumise à de puissantes influences collectives et sociales" (Pirou [1937], p. 34)

L'obstacle à la mathématisation de l'homme ne repose plus sur sa liberté, mais sur sa psychologie, autrement dit, son irrationalité. L'opposition quitte ainsi le domaine de la philosophie pour entrer dans celui de la confrontation disciplinaire. Plus loin, Pirou reproche à l'économie mathématique de faire

"par trop abstraction du facteur *humain*, du facteur *collectif*, du facteur *social*, qui ram[ène] à des schémas mécaniques une réalité qui y est pour partie réfractaire, qui ni[e] ou qui sous-estim[e] la part de relativité et de plasticité que comportent les institutions économiques" (*ibid.*, p. 35).

L'argument du facteur humain se renforce ici celui de l'abstraction propagée par l'usage des mathématiques.

Le débat ne reprendra qu'un an plus tard, à la suite de l'intervention de Roy, dans le numéro 51 de novembre 1938. En effet, nombreux sont ceux qui reprennent les arguments de Pirou : Nogaro, Lacoïn, ou encore Delaisi qui affirme sans originalité que les faits économiques "ne sauraient s'exprimer en courbes et en

équations" (p. 20). L'originalité proviendra d'un argument, avancé au cours de cette discussion par Alfred Sauvy, se rapportant au hasard :

"nous avons auprès de nous un exemple frappant encore d'un équilibre instable dont la rupture fut certaine mais dont on ne put pas prévoir le moment exact comme dans tout équilibre instable. Là en effet, les mathématiques s'avèrent impuissantes parce que de grands effets résultent de causes minimales, ce qui est une définition même du hasard" (p. 20).

Comme Sauvy est incapable d'imaginer l'existence d'une mathématique probabiliste, l'argument lui semble dirimant. Roy lui répond pourtant, en connaisseur de l'économétrie probabiliste :

"comme dans l'art de l'ingénieur il y a des formules qui conduisent à la solution de certains problèmes, mais nous savons bien que les solutions théoriques sont imparfaites puisque nous prenons des coefficients de sécurité pour nous mettre à l'abri du **hasard**" (p. 21).

Ainsi, le hasard ne peut pas constituer un obstacle à la mathématisation, puisque les énoncés scientifiques sont de types probabilistes : ils sont vrais avec une probabilité d'erreur.

Cette dernière partie du débat sur le facteur humain nous a ainsi révélé la conception implicite sur laquelle il repose. En effet, les tenants de la liberté humaine, de la psychologie ou encore du hasard, ont tous une représentation implicite des mathématiques. L'usage d'équations implique nécessairement une forme de déterminisme. L'existence de mathématique probabiliste, comme celle qui fonde la théorie des quanta en physique, leur est totalement inconnue. Ainsi, le clivage institutionnel universitaire/polytechniciens est également dû à des conceptions représentation différentes des mathématiques.

Les trois phases du débat sur l'utilisation des mathématiques ont ainsi été l'occasion de confronter de nombreux arguments. Il en ressort une grande constance méthodologique de la part des ingénieurs, constance reposant essentiellement sur leur formation. La science économique doit se faire à l'aide de la modélisation mathématique et des statistiques. Leur pratique se conformera, comme nous allons le voir, à cette conception.

2. Les "modèles" : une nouvelle utilisation des mathématiques ?

La méfiance envers l'économie mathématique pure conduit les ingénieurs à favoriser un nouvel usage des mathématiques, inspiré de la physique : l'usage des "petits modèles".

Selon Israel en effet, la modélisation mathématique peut se faire de deux manières. Soit partir d'observations empiriques rigoureusement menées et constituer, à partir de ce matériau, un modèle mathématique calqué sur ceux de la mécanique. C'est, affirme Israel, la démarche du modèle de Voltera :

"[I]l s'inspire d'une démarche tout à fait classique : partir de l'analyse d'un phénomène réel, faire abstraction des aspects accessoires ("frottements"), déterminer les variables d'état, formuler une hypothèse mathématique concernant l'allure du phénomène. Ensuite, le modèle est bâti sur une analogie mécanique, on pourrait même dire qu'il est l'expression d'une tentative de greffe de concepts mécaniques en biologie. Enfin, [...] [il s'agit de] trouver des preuves empiriques ou expérimentales vérifiant *directement* les lois déduites du modèle, et non pas en justifier la validité d'une façon indirecte, c'est-à-dire à partir de l'efficacité de certaines de ses conséquences" (Israel [1996], p. 66).

La modélisation mathématique suppose donc au préalable qu'une analogie avec la mécanique soit constituée. Les modèles seront donc systématiquement d'inspiration mécaniste. Cette démarche imprègne, au sein d'X-Crise, les travaux des frères Guillaume.

La modélisation mathématique "moderne" repose au contraire, selon Israel, sur la seule existence d'une analogie formelle entre le phénomène et l'objet mathématique. Le modèle de Van der Pol (1928) en constituerait l'archétype. Loin d'être élaboré à partir d'une analyse rigoureuse des propriétés spécifiques du phénomène étudié, ce modèle provient

"d'une recherche d'*analogies* entre quelques caractéristiques importantes du phénomène et les caractéristiques identiques d'un autre phénomène, pour lequel on dispose d'une représentation mathématique satisfaisante. [...] C'est la *structure mathématique* qui compte, c'est elle qui joue le rôle de modèle. La démarche consiste donc [...] à trouver des "analogies", dans le sens général

et générique du mot, entre des phénomènes parfois très divers, dont l'un au moins peut faire l'objet d'une description mathématique simple. Dès qu'on a établi ces analogies, cette description constitue un *modèle mathématique* pour tous les phénomènes «semblables»" (Israel [1996], p. 49-50).

Pour Israel, l'analogie initiale s'avère extrêmement ténue, induisant un "profond hiatus entre la réalité et le modèle", car

"le modèle n'est pas déduit de la réalité, et n'en représente pas non plus une approximation conceptuelle. Il s'agit tout au plus d'une *métaphore mathématique* de certains de ses aspects" (*ibid.*, p. 50).

La "légitimité" du modèle est alors établie par sa "vraisemblance" et son "utilité" (*ibid.*, p. 50). Cette approche se rencontre également - de manière incomplète - au sein d'X-Crise à travers les travaux de Gibrat ou de Potron.

Pour nous, il est intéressant de retrouver au sein d'X-Crise la coexistence des deux formes de modélisation décrites par Israel. En effet, on constate qu'en France, le basculement d'une modélisation "classique" à une modélisation "moderne" s'est faite sur une très courte période. Pour le montrer, nous aborderons successivement ces deux formes de modélisation au sein de X-Crise pour tenter enfin d'identifier certains facteurs favorables à ce basculement.

2.1. Les frères Guillaume et l'usage des "petits modèles"

L'existence d'une modélisation "classique" au sein de X-Crise est particulièrement bien représentée par les travaux des frères Guillaume⁴. Leurs modèles sont directement construits par analogie avec la mécanique, tout en étant validée par l' "expérimentation". La notion de modèle y figure même explicitement.

Le "modèle réduit" est en effet une représentation en miniature du monde réel, comportant la même "structure", tout comme un "modèle réduit" permet à un ingénieur d'expérimenter le comportement d'un ouvrage avant sa réalisation en grandeur nature (Guillaume [1937], p. 242). Ainsi,

"[p]our pénétrer le mécanisme d'un phénomène physique, la méthode consiste à imaginer un modèle réduit aussi complet que possible, obéissant aux principes et aux lois découverts et qui

⁴ Voir également Ullmo ([1937], pp. 9-10).

reproduise au mieux le phénomène envisagé" (Guillaume [1932], p. 62).

Un modèle est ainsi une représentation simplifiée de la réalité, que l'on peut enrichir en prenant progressivement en compte des nouveaux aspects du phénomène économique. Mais il doit toujours conserver la "structure" du monde économique :

"[s]ur ce modèle de base, l'établissement des opérations fondamentales ne pose aucune difficulté et prépare le lecteur à l'extension de ce genre de raisonnement à des modèles de plus en plus proche de la réalité. Ce premier modèle de base contient déjà l'essentiel de la structure de notre monde économique" ([1937], p. 242).

Ces modèles doivent reposer sur un nombre minimum de principes afin d'assurer une "économie de la pensée" (*idem.*), selon le mot du physicien Mach dont Bridgman est devenu le prosélyte⁵. "Économie de pensée" et nombre minimum d'axiomes sont en effet, pour les frères Guillaume, les deux principaux attributs d'une "axiomatique" (Guillaume [1932], p. 63, [1937], p. 6). Ce faisant, les modèles permettent de découvrir les "véritables lois qu'impose cette structure" (Guillaume [1937], p. 244) et dont les mathématiques assurent la cohérence⁶. Mais ces principes fondamentaux doivent toujours renvoyer à des opérations observables, sans cela l'"axiomatique ne [ser]ait pas «opérationnelle», suivant la si heureuse expression de M. Bridgman" (Guillaume [1937], p. 13)⁷.

⁵ Les frères Guillaume préfigurent en cela le mouvement d'axiomatisation que connaîtra l'économie à partir des années 40.

⁶ Les frères Guillaume ne respectent pas forcément cet idéal, comme le relève Divisia : "les auteurs nous paraissent ne pas échapper à un travers assez général, parmi ceux qui se servent des mathématiques : partir de prémisses «très simples» et introduire, plus ou moins explicitement, d'autres hypothèses ou affirmations en cours de route" (Divisia [1938], p. 193).

⁷ Nous reviendrons sur l'opérationalisme des Guillaume. Ullmo mentionne l'existence d'un autre risque inhérent à l'utilisation arbitraire de l'axiomatique : "Sa puissance propre non contrôlée, l'usage immodéré de l'*a priori* le conduisent aux tautologies, aux impasses, des constructions trop orgueilleuses, "métaphysiques", suivant le mot de M. Halbwachs, qui ont marqué la faillite de la physique grecque ou scolastique, entre bien d'autres" (Ullmo [1937], p. 9).

La découverte des lois de l'économie, de la rationalité du système et de ses déséquilibres, tel devient l'objectif premier de l'"économie rationnelle" (Guillaume [1932]), l'idéal étant de "créer une *Economique rationnelle* semblable à un corps de doctrine comme l'est la Mécanique rationnelle" (Guillaume [1937], p. 3). Grâce à ces modèles et aux déductions rigoureuses qu'ils rendent possible, "c'est à la seule puissance des mathématiques que nous avons demandé la réponse aux questions posées par l'économiste" (*idem.*, p. 244).

La référence à la mécanique rationnelle est symptomatique de la manière dont les Guillaume élaborent leur modèles. Les emprunts conceptuels sont même explicites, comme en témoigne les deux axiomes retenus par les Guillaume : le principe de la "conservation des flux de commodités" (désigne toutes les affectations possibles - intermédiaires et finales - d'un "flux" donné de "commodités" produites) et celui de la "conservation des flux de valeur" (soit l'égalité nécessaire entre le "flux de valeur" de la production d'un bien et la somme des flux de facteurs, exprimés en valeur, nécessaires à la production de ce bien) (Fischman et Lendjel [1999]). Mentionnons également les concepts de "vitesse de production" et de "vitesse d'acquisition" que l'on obtient en dérivant les équations de production et de consommation par rapport au temps. Ces emprunts conceptuels à la physique constituent ainsi les vecteurs explicites de la modélisation mathématique élaborée par les Guillaume.

Une fois le modèle achevé, ils tentent ensuite de fournir, avec leur cinégramme, des preuves empiriques de leurs résultats (Fischman et Lendjel [1999]). La confrontation de ces modèles aux travaux empiriques de Simiand sera généralement interprétée comme une confirmation. Comme le note Louis Vallon, dans sa nécrologie de Simiand,

"[t]erminons par une remarque. Dans l'oeuvre de Simiand, il y a une théorie expérimentale du crédit et de la monnaie scripturale qui rappelle celle que soutint si brillamment devant nous M. Georges Guillaume sur l'"endettement". Sans doute notre monde économique complexe est-il loin de ressembler au "modèle" simplifié; peut-être même **par nature** ne peut-il être assimilé à un tel modèle; il n'en reste pas moins vrai qu'une étude de ce genre permet de fixer un système de référence utile à la détermination des déséquilibres économiques réels. **L'Économique rationnelle** apparaît sous cet aspect comme le complément de l'**Économique expérimentale** de François

Simiand, de même que la chimie est un des supports indispensables de la biologie" (Vallon [1935], p. 68).

La modélisation des Guillaume, "validée par l'expérience", s'appuie donc directement sur des concepts empruntés à la physique. En cela, les Guillaume appartiennent à la tradition "classique" de modélisation, selon la terminologie établie par Israel [1996].

2.2. Une modélisation moderne ?

L'ébauche de Gibrat (1935)

Les premières manifestations, en France, d'une modélisation "moderne" - toujours selon les termes d'Israel - se rencontrent également au sein d'X-Crise. Deux tentatives, faites par des membres polytechniciens de cette association, peuvent en effet être interprétées en ce sens.

La première concerne Gibrat qui, au détour d'une discussion avec Coutrot, propose de se servir de l'équation de Van der Pol pour décrire les crises économiques théorisées par Marx. Ainsi :

"Tu me fais entrevoir la possibilité d'une équation différentielle dans laquelle la divinité serait représentée (*rires*). Sérieusement il faut bien voir que l'oscillation naturelle de l'économie ne peut être sinusoïdale et par exemple la conception marxiste de la lutte des classes se ramène à la théorie d'une oscillation de relaxation. Voici l'exposé de Marx : Il y a chaque année, par suite du développement des sciences, un perfectionnement des moyens de production qui correspond à ce que Coutrot appelle "le taux de rationalisation". Les forces de production grandissant, il arrive un moment où, par leur croissance même, elles ne sont plus en équilibre avec les rapports de propriété existants. [...] Cet immense édifice, échafaudé sur les rapports de production, ne peut s'adapter aux changements continus. Il vient un moment où il y a choc, crise et révolution. Ce processus est exactement celui de la décharge des tubes au néon des enseignes lumineuses" (Coutrot-Gibrat [1935], pp. 48-49).

S'ensuit la liste, énumérée par Van der Pol en 1928, des phénomènes auxquels les équations de Van der Pol sont susceptibles de s'appliquer :

"la harpe éolienne, le marteau pneumatique, le bruit du couteau que l'on gratte sur un plat, le drapeau flottant dans le vent, le

bruit bourdonnant fait par un robinet d'eau, les étincelles périodiques des machines Wimsthurst, l'interrupteur de Wehnels, le craquement d'une porte, le multivibrateur Abraham et Bloch, le multivibrateur tétrode, la décharge intermittente d'un condensateur à travers un tube au néon, la réoccurrence périodique des épidémies et des crises économiques, les cycles périodiques d'un nombre pair d'espèces d'animaux vivant ensemble, l'une servant de nourriture à l'autre, le sommeil des fleurs, la réapparence périodique des ondes durant une dépression, le frémissement dû au froid, la menstruation et finalement les battements du cœur. On a tendance de plus en plus à considérer ces oscillations comme fondamentales, et je n'ai pu résister au désir d'y adapter le fameux schéma marxiste" (Coutrot-Gibrat [1935], p. 49).

Gibrat s'arrêtera à cette simple idée, sans tenter d'en donner une modélisation explicite. L'intérêt, pour nous, réside précisément dans cette interruption. Il s'arrête en effet au seuil de ce qu'Israel nomme la modélisation mathématique moderne.

Pourquoi un tel arrêt, alors même que le sujet - la crise - préoccupe tous les membres d'X-Crise ? L'explication se trouve probablement du côté des positions épistémologiques imprégnant les polytechniciens dans ces années. Gibrat en est même une des figures, puisqu'il participe à l'essor de l'économétrie en France. C'est en effet du côté de l'attention scrupuleuse aux "faits", aux statistiques, à "l'expérience", que l'on trouve l'explication de cette hésitation. La modélisation mathématique est certes nécessaire, pour les ingénieurs, mais elle doit toujours, comme nous l'avons déjà mentionné, être contrebalancée par l'étude des faits. Le rejet de l'économie pure walrassienne et l'assimilation de la science à l'économétrie en témoigne particulièrement. Si l'on s'en tient au cas de Gibrat, l'obstacle à l'utilisation sans limite des mathématiques décrite par Israel réside au mieux dans une épistémologie consciente - le pragmatisme -, sinon au moins dans une culture scientifique qui maintient un lien indéfectible avec l'expérience.

Le modèle de Potron

Le deuxième cas est celui de l'abbé Potron, Professeur de mathématique à l'Institut Catholique, peu familiarisé avec les théories économiques et surtout connu pour ses travaux mathématiques sur le théorème de Frobenius (1913).

S'adressant ainsi à Gibrat, Potron écrit, dans un article intitulé "Sur certaines Conditions de l'Equilibre Economique" paru dans le numéro de juillet-août 1935⁸, la proposition suivante :

"[v]ous avez parlé, à la réunion du 22 février dernier, au C.P.E.E., d'une matrice d'offres et de demandes, considérées par Frisch. Il est une autre matrice, très intéressante, que je crois bien avoir été le premier à considérer, au moins dans son application aux problèmes économiques" (Potron [1935], p. 62).

Il s'agit "[d]es théorèmes de Frobenius (énoncés et démontrés en 1909) sur les matrices ou substitutions linéaires à coefficients positifs" (Potron [1937], p. 57). En appliquant ce théorème à l'économie, Potron entend montrer que

"la probabilité pour que l'on tombe par hasard sur un régime satisfaisant de production prix et salaires est tellement faible que la rencontre d'un tel régime est à peu près impossible" (Potron [1935], p. 65).

Pour le montrer, il se propose d'étudier ce qu'on appellerait aujourd'hui les conditions d'existence d'un équilibre en s'appuyant sur le calcul matriciel. Il soulève d'abord la question de la possibilité théorique d'un tel équilibre (Potron [1935], p. 64), pour aborder la question de sa stabilité lorsque cet état est perturbé par le progrès technique et l'investissement (*ibid.*).

Concernant le premier point, il propose, après avoir présenté les variables et l'ensemble des relations structurant l'économie, de les synthétiser par deux systèmes matriciels (Potron [1935], p. 63). Le premier ne comporte qu'un groupe d'inconnues - les quantités produites d_i - qui, combiné avec la matrice C_{ki} de toutes les consommations nécessaires à la production (consommation intermédiaire, volume horaire de travail utilisé, consommation finale par individu, volume horaire maximum de travail - légalement fixé - d'un individu), permet d'obtenir le surplus F_i (représentant une combinaison linéaire des "non-travailleurs," du volume horaire d'heures chômées - le "chômage" - et de la "surproduction" qui recouvre implicitement l'investissement et les stocks) :

$$(1) \quad d_i - \sum_k C_{ki} d_k = F_i .$$

⁸ La conférence de Gibrat à laquelle fait allusion Potron n'a pas été publiée dans le *Bulletin du C. P. E. E.*

Relevons ici une originalité de Potron en ce qu'il prend explicitement en compte le rôle que jouent les chômeurs dans le système économique à travers leur consommation.

Le deuxième système d'équations ne comporte également qu'un groupe d'inconnues, les prix a_i , qui dépend de la matrice C'_{ik} (représentant la transposée de la matrice C_{ik}) et de la matrice B_i (combinaison linéaire des "bénéfices des entreprises" et des "économies des travailleurs") :

$$(2) \quad a_i - \sum_k C'_{ik} a_k = B_i$$

Potron aboutit ainsi à une représentation matricielle de ce qu'il appelle un état *économico-social* :

"[o]n peut dire que l'ensemble des valeurs attribuées à ces divers symboles caractérise un état *économico-social* déterminé. Un tel état sera satisfaisant et stable si les conditions suivantes sont remplies" (*ibid.*, p. 62).

Potron va alors appliquer le théorème de Frobenius à ces matrices positives afin de voir si l'on peut obtenir une organisation "satisfaisante" de la production et établir un "régime satisfaisant de prix et salaires".

Pour cela, il doit au préalable discuter des "coefficients" figurant dans les matrices, ainsi que de leur variabilité. Cette discussion s'avère étonnante, car Potron y relève le rôle que joue l'organisation dans le processus de production d'une entreprise, ainsi que le caractère conventionnel des prix et des salaires.

"L'action possible de la volonté humaine sur ces divers coefficients varie beaucoup avec leur catégorie. Les c_{ik} [coefficients de consommation intermédiaires] et t_{ih} [volume horaire de travail] sont commandés par les procédés de fabrication, l'organisation des diverses entreprises. On peut agir sur eux par des inventions nouvelles, par la "rationalisation"; mais cette action sera toujours assez lente, et, dans l'ensemble, assez restreinte. Au contraire les prix, les salaires, l'effectif du personnel ne sont imposés par aucune nécessité *physique*. Ils résultent de *conventions* qui, théoriquement au moins, sont *libres*. Leurs modifications peuvent être très rapides" (*ibid.*, p. 63).

Ces caractéristiques joueront un rôle déterminant dans la possibilité d'obtenir un régime satisfaisant d'allocation des ressources. L'examen des coefficients conduit Potron à affirmer que la matrice C_{ik} des consommations intermédiaires et sa transposée sont des matrices carrées et, plus généralement, que toutes les matrices sont positives.

Ces caractéristiques lui permettent de faire intervenir un "théorème de mathématique pure" qu'il est l'un des premiers à utiliser en économie. En l'appliquant à la matrice des consommations intermédiaires, Potron remarque que les caractéristiques de cette matrice conditionnent toute l'organisation de l'économie.

"Ainsi tout dépend de la racine caractéristique du tableau $\| C_{ki} \|$. Si elle est < 1 , il est théoriquement possible d'organiser la production d'une façon satisfaisante, comportant d'ailleurs nécessairement une certaine surproduction, un certain chômage, un certain nombre de non-travailleurs. Supposant cette organisation réalisée, il est théoriquement possible d'établir un régime satisfaisant de prix et salaires, comportant certains bénéfices, et, pour les travailleurs, certaines économies, résultant de l'excès du salaire *effectivement touché*, sur le coût de vie" (Potron [1935], p. 64).

Mais Potron n'indique pas si ce "régime satisfaisant" sera optimal au sens de Pareto et s'il sera effectivement atteint. Par ailleurs, cet état de l'économie dépend de facteurs - comme les caractéristiques techniques de la production - que l'on suppose constants.

Dès que le progrès technique modifie ces paramètres, montre Potron, les chances pour obtenir un régime satisfaisant s'amenuisent grandement.

"Cela explique en partie pourquoi les progrès techniques, qui devraient procurer aux hommes plus de bien-être pour un moindre travail total, sont souvent au contraire cause de misères et de ruines" (Potron [1935], p. 64).

En fait, la raison principale tient à l'absence de lois régissant le système économique.

"Chaque entreprise P_i connaît assez bien ses propres c_{ik} [consommation intermédiaires] et t_{ih} [temps de travail nécessaire

à la production]. Mais il n'y a personne pour former et résoudre le système [1] [qui répartit les quantités produites entre consommation intermédiaire, consommation finale et "surplus"]. Chacun prend son d_i [les quantités produites] au petit bonheur, et l'on est tout surpris d'avoir d'énormes F_i ["surplus"], qui supposent un grand chômage ou une forte surproduction ou, au contraire, on tombe sur des F_i négatifs, ce qui n'est pas moins désastreux" (Potron [1935], p. 64).

Potron arrive ainsi à la conclusion qu'en l'absence de mécanisme autorégulateur, l'équilibre économique est "improbable", même s'il est logiquement possible. La seule manière rationnelle d'arriver à résoudre ce problème serait, affirme-t-il, de calculer directement la solution de ces systèmes d'équations, ce qui est impossible en raison du "nombre immense de ces équations" (*ibid.*, p. 65).

"Si l'on avait commencé ces calculs il y a quelque mille ans, il y avait alors beaucoup moins d'équations. Les retouches nécessitées par chaque nouvelle invention sont en somme peu de chose. Quelques coefficients seulement sont modifiés. On aurait le temps d'achever les calculs avant sa mise en service" (*ibid.*, p. 65).

Signalons ici que la solution de Potron, qui adhère clairement à la tendance planiste au sein d'X-Crise, anticipe étonnamment sur la dynamique de croissance des trente glorieuses. Il s'agirait en effet d'anticiper les effets du progrès technique sur le processus productif (gains de productivités, nouvelles organisations du travail, nouveaux produits, etc.) en les mettant en adéquation avec ce que Potron appelle le "train de vie" des consommateurs (*ibid.*, p. 62). En l'absence d'un mécanisme autorégulateur de l'activité économique, un organisme central se doit d'assurer la coordination des activités productives et calculer les effets du progrès techniques.

Pour nous, l'intérêt du modèle de Potron est multiple.

1/ Il constitue l'un des premiers exemples français d'une modélisation mathématique "moderne", pour reprendre la distinction d'Israel, au sens où cette modélisation ne repose plus sur l'intermédiation d'une analogie avec une science déjà formalisée, comme la physique. Elle repose au contraire sur l'analogie formelle entre certains aspects du phénomène et l'objet mathématique. Ainsi, plutôt

que de transposer à l'économie des concepts issus de la physique, comme celui d'équilibre, Potron ne s'appuie que sur ses connaissances mathématiques des propriétés des matrices positives et sur une représentation matricielle de l'économie. L'analogie s'établit cette fois-ci entre certaines caractéristiques de l'économie et les matrices positives. Potron apparaît donc bien, au premier abord, comme l'archétype du néo-modélisateur décrit par Israel, puisque l'on a affaire à un mathématicien, néophyte dans les questions d'économie politique, qui trouve par hasard dans un exposé de Gibrat, l'occasion d'appliquer un théorème mathématique sur lequel il a travaillé à une représentation matricielle de l'économie.

2/ Il convient de s'arrêter sur la notion de "régime satisfaisant" développée par Potron. Si Potron emploie le terme d'"équilibre", qui désigne l'égalité entre production et consommation, c'est pour l'écarter aussitôt comme étant hautement "improbable". Loin de renvoyer à une analogie avec la physique, le terme de "régime satisfaisant" provient, nous semble-t-il, directement des mathématiques qu'il utilise. En effet, le théorème de Frobenius conduit à examiner la racine caractéristique du déterminant de la matrice considérée. Au delà d'un certain seuil, la matrice permettra au moins la reproduction du système. Le régime sera donc satisfaisant, sans toutefois que l'on puisse en dire plus sur le niveau atteint. Ce concept économique provient donc ici uniquement de l'application d'un théorème mathématique et non pas d'une analogie avec la physique. En cela, Potron rompt radicalement avec la prégnance des concepts issus de la physique au sein de l'économie mathématique.

3/ Le concept de "régime satisfaisant", qui est induit par le théorème mathématique, n'est pas sans évoquer les théories que Simon a développées presque trente ans après. Il est en effet frappant de voir que le régime n'est satisfaisant que parce qu'il dépasse un certain seuil, laissant totalement indéterminé le niveau effectif atteint. Un certain niveau de chômage, de surproduction, accompagne en effet le "régime satisfaisant" qu'un système peut atteindre. Il en va de même pour les agents, comme le suggère Potron, puisque ces derniers ne cherchent pas à avoir une consommation ou une production optimale, mais une consommation déterminée par un "train de vie", et une production comportant nécessairement des stocks.

4/ Les caractéristiques de l'économie retenue par Potron sont par certains aspects lacunaires : qu'il s'agisse de l'absence de mécanisme de formation des prix, ou de celle de tout rôle dévolu à la monnaie (puisque'il s'agit d'une allocation "réelle" des ressources), Potron prête alors le flanc aux reproches qu'Israel adresse à la modélisation mathématique moderne. Mais ces lacunes paraissent marginales

au regard des innovations conceptuelles et formelles avancées par Potron. On peut alors avancer que l'usage des mathématiques constitue ici un véritable instrument d'investigation des phénomènes économiques, comme semble en témoigner le concept de régime satisfaisant. Ce faisant, loin de ne constituer qu'une simple "métaphore mathématique", pour reprendre l'expression d'Israel, la modélisation mathématique moderne peut déboucher sur un véritable dévoilement de la réalité économique.

2.3. Les facteurs favorables à la modélisation mathématique

Il est donc intéressant d'observer, au sein d'un espace délimité et sur une période assez brève, le basculement signalé par Israel à propos de la modélisation mathématique. Du fait du caractère nettement délimité de l'expérience X-Crise, on peut essayer de repérer les conditions de possibilité du basculement décrit par Israel. Deux facteurs paraissent, nous semble-t-il, favoriser ce basculement en France, dans les années trente.

- Le premier a trait à l'étendue de la culture mathématique et scientifique des polytechniciens. En effet, il n'est pas rare de voir un polytechnicien de faire étalage de cette culture au cours des conférences. Gibrat, par exemple, dont on connaît le rôle dans l'implantation de l'économétrie en France, est ainsi capable, au cours d'une même conférence (Coutrot et Gibrat [1935]), de dissenter sur la dialectique de Hegel, de son "renversement" par Marx, de se moquer de son utilisation dans un article - publié dans une revue soviétique - intitulé "Le matérialisme dialectique et l'art de la pêche à la ligne", d'exposer l'équation d'oscillation-relaxation de Van der Pol et les multiples applications qu'en propose l'auteur dans son article de 1928, de la théorie des quanta, d'aborder la crise des fondements des mathématiques en confrontant les thèses formalistes (défendues par Hilbert, Lusin, ou encore, en France, par Lebesgue) à celles des intuitionnistes (menées en France par Borel) et celles des logiciens (Russell, Weyl), enfin de mentionner la psychanalyse et sa méthode. Cette surface de connaissances leur permet d'appliquer facilement leur connaissances mathématiques aux domaines qu'ils étudient. La proposition de Gibrat concernant l'application de l'équation de Van der Pol à la théorie des crises de Marx peut, à elle seule, en témoigner. Le premier facteur favorable à la nouvelle forme de modélisation est donc une culture mathématique approfondie ainsi qu'une bonne connaissance des modélisations mathématiques existant dans les différentes disciplines. Ce facteur corrobore la thèse de l'ouvrage de Mirowski [1989], selon laquelle la révolution mathématique qui marque la discipline économique à partir des années quarante est

principalement le fait de personnalités issues de la physique - comme Samuelson ou Koopmans -.

- Le second facteur favorable à l'émergence, en France, de la modélisation mathématique, se situe à la frontière entre les valeurs des polytechniciens et leur épistémologie. En effet, les polytechniciens de X-Crise ont un système de valeur, reposant essentiellement sur leur culture scientifique et leur souci de l'empirie, qui coïncide avec une épistémologie d'origine américaine : l'opérationnalisme, une version élaborée par Bridgman du pragmatisme. L'adhésion rapide des membres de X-Crise à cette épistémologie témoigne d'ailleurs de cette coïncidence. Or, cette épistémologie favorise la modélisation mathématique.

Introduite en France par le *best-seller* d'Alexis Carrel, *L'homme, cet inconnu* ([1935], pp. 34-40)⁹, cette épistémologie se diffuse ensuite rapidement au sein d'X-Crise. Coutrot, qui a lu dès 1935 l'ouvrage de Carrel, se fait l'apologue de cet ouvrage, au point d'en paraphraser tous les éléments - y compris les thèses eugéniste - dans une conférence avec Gibrat (Coutrot et Gibrat [1935]). Nous y reviendrons. Ullmo rédige ensuite, en 1936, un article publié dans le numéro de novembre-décembre de la *Revue philosophique*, dans lequel il reprend l'épistémologie opérationnaliste de Bridgman. Les Guillaume [1937] adhéreront également à cette épistémologie qui coïncide étroitement avec leur approche¹⁰.

L'opérationnalisme de l'américain Bridgman repose avant tout sur le principe pragmatique formulé par Peirce : "Toute distinction théorique doit conduire à une différence dans la pratique" (cité par Lapoujade [1997], p. 9). On perçoit d'emblée le motif principal de la sympathie des ingénieurs pour cette épistémologie. En effet, selon ce principe pragmatique, toute idée engendre des conséquences pratiques (*idem.*, p. 47); elle doit donc être évaluée à l'aune de ses conséquences pratiques. Les ingénieurs, ayant à résoudre des problèmes appliqués,

⁹ Carrel a fait de nombreux séjours aux Etats-Unis entre 1904 et 1941, plus particulièrement au *Rockefeller Institute for Medical Research* de New York (Bonnafé et Tort [1992], p. 14).

¹⁰ La référence à l'opérationnalisme de Bridgman [1927] n'apparaît explicitement que dans l'ouvrage de 1937 des frères Guillaume ([1937], p. 243), mais elle structure déjà leur ouvrage de 1932. Mentionnons au passage qu'il s'agit de la première référence explicite sur ce thème dans l'histoire de la pensée économique, avant même celles de Schultz et évidemment de Samuelson. Remarquons enfin une très forte similitude entre les positions épistémologiques et méthodologiques du Samuelson des *Fondements* et celle des frères Guillaume.

ont besoin de théories susceptibles de guider leurs actions. Le pragmatisme leur fournit le cadre épistémologique adéquat. D'autant que cette épistémologie ne constitue pas seulement un moyen d'évaluation des idées, il aide également

"à fabriquer les idées qui peuvent servir l'action ou la pensée. Il devient alors un outil de création. *Comment se font les idées et ce que nous faisons avec des idées*, voilà les deux axes de la méthode pragmatique" (*ibid.*, p. 11).

Dans sa version opérationnaliste, le pragmatisme de Bridgman stipule que les concepts doivent renvoyer à des opérations concrètes. Bridgman, dans *The Logic of Modern Physics* (1927), s'appuie sur la théorie de la relativité d'Einstein pour proposer une autre manière de définir un objet (Machlup [1960], p. 159). Plutôt que de définir un concept par les caractéristiques essentielles que l'on attribue à l'objet correspondant, Bridgman propose de définir un concept par la suite d'opérations physiques effectuées par un observateur pour prouver la présence de l'objet relatif au concept. Plus précisément, cette épistémologie empiriste tente d'établir des règles de correspondance pour relier des concepts théoriques abstraits à des opérations susceptibles de donner lieu à une mesure physique. Ainsi, formulé dans les termes des frères Guillaume, "[u]n concept n'est clair, bien plus, n'a de sens, que s'il correspond à une opération ou à un groupe d'opérations bien déterminées, autrement dit, que s'il forme un concept «opérationnel»" (Guillaume [1937], p. 243). L'ensemble des opérations correspondant à la définition d'un concept doit être unique afin d'éviter toute ambiguïté (Bridgman [1927], p. 6). De ce fait, "le concept est synonyme avec l'ensemble correspondant d'opérations" (*ibid.*, p. 5). Selon Bridgman, un concept n'est opérationnel que si l'on peut lui associer la mesure d'une grandeur. Il doit donc pouvoir faire l'objet d'une vérification numérique (Guillaume [1932], p. 43). C'est sur cette base que les frères Guillaume rejettent les fondements "subjectivistes" des théories de Walras et de Pareto, puisque l'ophélimité n'est pas un phénomène directement mesurable (Guillaume [1932], p. 43). Ils observent par contre des comportements de masses, comme les phénomènes de modes, littéralement produit *via* la publicité par les gros producteurs. La consommation de masse devient un phénomène "objectif," puisque mesurable, qu'ils inscrivent alors au cœur de leurs modèles (*ibid.*, p. 44).

Les modèles opérationnels rendent alors possible une mesure des phénomènes économiques (*ibid.*, p. 243; Ullmo [1937], p. 10). La question de la mesure explique le rôle structurant que joue la comptabilité dans le projet

théorique des Guillaume, tout comme elle rend compte de la sympathie des ingénieurs à l'égard de l'économétrie. La volonté d'un Moore (1929) et d'un Cournot (1838) d'allier statistiques et modèles théoriques purs trouve ainsi un écho très fort dans l'épistémologie des polytechniciens à X-Crise. Ces derniers voient dans les mesures et les prévisions promises par l'économétrie les deux propriétés essentielles pour rendre les modèles non seulement "opérationnels," mais également "opératoires" sur la réalité économique. L'économétrie répond ainsi d'abord à leur désir d'effectuer des prévisions afin d'intervenir dans le vie économique, ensuite à l'importance qu'ils attachent à l'expérience et à la mesure.

On comprend alors pourquoi le modèle élaboré par Potron, tout en incarnant la nouvelle forme de modélisation mathématique décrite par Israel, ne tombe pas dans le travers, signalé par ce dernier, de la "métaphore mathématique". La pratique modélisatrice des polytechniciens rejoint ainsi la principale thèse qui transparaît des débats : un modèle mathématique n'a de sens que s'il maintient un lien étroit avec l'empirie.

Conclusion

En conclusion, il apparaît que le débat méthodologique au sein d'X-Crise sur l'emploi des mathématiques en économie met en évidence la spécificité de l'approche par les polytechniciens des phénomènes économiques qui n'apparaît réellement, en France, qu'à partir de la période des années trente. Trois caractéristiques émergent tout particulièrement.

1. Le souci constant d'une articulation entre modèle mathématique et statistique qui s'incarne dans le projet économétrique.
2. Le souci de mettre à jour toutes les implications politiques et mathématiques au coeur du débat sur l'antinomie entre l'homme et la mathématisation.
3. Le développement d'une nouvelle forme de modélisation qui ne repose plus sur l'analogie mécanique, mais sur la mise en correspondance terme à terme des phénomènes économiques avec les objets mathématiques.

Bibliographie

ARMATTE M. [1997], "Les Mathématiques sauraient-elles nous sortir de la crise économique ? X-Crise au fondement de la technocratie", Actes du Colloque *Mathématiques sociales et expertise*, Besançon, 30-31 octobre 1997.
 BLOCH M. [1937], "Que demander à l'Histoire ?", *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 35, février 1937, pp. 15-22.

BORIS G. [1933], "Présentation des séances des 16 et 20 janvier 1933", X-Crise, *Bulletin du C.P.E.E.*, n°1 - janvier 1933, p. 3.
 BONNAFÉ L. et TORT P. [1992] *L'homme, cet inconnu ? Alexis Carrel, Jean-Marie Le Pen et les chambres à gaz*, Paris, Editions Syllepse, 1992.
 BRIDGMAN P. W. [1927], *The Logic of Modern Physics*, New York, Macmillan, 1927.
 CARREL A. [1935], *L'homme, cet inconnu*, Paris, Plon, 1941.
 COUTROT J. et GIBRAT R. [1935] "Philosophies de l'Evolution économique", séance du 28 juin 1935, *Bulletin du C.P.E.E.* de juillet-août, n° 24-25, pp. 45-58, suivi d'une discussion p. 59-61
 DARD O. [1995] "Voyage à l'intérieur d'X-Crise", *Vingtième siècle*, été (juillet-septembre) 1995, n° 47, pp. 132-146.
 DARD O. [1994] *Les novations intellectuelles des années 1930, l'exemple de Jean Coutrot*, thèse de doctorat, IEP de Paris, 1994, 3 volumes, 875 p.
 DARMOIS [1937], "Mathématiques et statistique au service de l'économique", *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 34, janvier 1937, pp. 36-40.
 DIVISIA F. [1934], "Travaux et méthodes de la Société d'Econométrie", *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 11-12, mars-avril 1934, pp. 6-13, discussion 14-16.
 DIVISIA F. [1938] "L'économie rationnelle de MM. Georges et Edouard Guillaume," *Revue d'Economie Politique*, 52, janvier-février 1938, pp. 187-193.
 FISCHMAN M. et LENDJEL E. [1999] "X-Crise et le Modèle des Frères Guillaume", à paraître en 1999 in P. Dockès (ed.), *Actes du colloque de l'A. C. G. E. P. E. : "La tradition économique française : 1834-1939"*.
 GIBRAT R. [1935], "La science économique; méthode et philosophies", *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 26, sept. 1935, pp. 3-8.
 GUILLAUME G. et É. [1932], *Sur les Fondements de l'Économie Rationnelle avec une Technique de la Prévision, avec une Théorie Mathématique*, Paris, Gauthier-Villars et Cie, Éditeurs, 1932.
 GUILLAUME G. et É. [1937], *L'Économie Rationnelle - De ses Fondements aux Problèmes Actuels avec une Annexe Mathématique - Le Facteur Spécifique des Impulsions et des Freinages de l'Activité Économique. Prévision Quantitative des Déséquilibres*, Postface de J. Coutrot, Paris, Hermann et Cie, Éditeurs, 1937.
 HALBWACHS M. [1937], "le point de vue du sociologue" bulletin du C.P.E.E., n° 35, février 1937, pp. 23-30.
 ISRAEL Giorgio [1996], *La mathématisation du réel ; essai sur la modélisation mathématique*, Paris, Seuil, 1996.

- KELLERSOHN [1933] "Un déterminisme conduit-il l'évolution de la crise ?", *Bulletin du C.P.E.E.* avril-mai 1933, n° 3, pp. 3-8.
- LAPOUJADE David [1997] *William James. Empirisme et pragmatisme*, Paris, PUF-Philosophies, 1997.
- LE CHATELIER H. [1930], "L'économie politique doit-elle tendre à devenir une science ou doit-elle rester une philosophie?", *X information*, 11 (5), 25 octobre 1930, p. 115.
- MACHLUP F. [1960], "Operational Concepts and Mental Constructs in Model and Theory Formation," *Giornale degli Economisti*, 19, 1960, réédité in Machlup [1978], *Methodology of Economics and Other Social Sciences*, New York, Academic Press, 1978, chap. 6, pp. 159-188.
- MIROWSKI P. [1989], *More Heat than Light - Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- NICOLETIS Y. [1967] "X-Crise : A propos du livre récent de M. P. Bauchard," *La jaune et la rouge*, n° 216, juin 1967, pp. 18-23.
- PÉNIN M. et ZYLBERBERG A. [1990] "Les résistances à la mathématisation en économie," *Les Cahiers de l'A.C.G.E.P.E.*, vol. 4, 1990, pp. 25-60.
- PIROU G. [1937], "Economie politique et facultés de droit; Méthodes et Résultats," *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 34, janvier 1937, pp. 29-35.
- POTRON [1935] "Sur certaines Conditions de l'Equilibre Economique," lettre de M. Potron (90) à R. Gibrat (22), *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 24-25, juillet-août 1935, pp. 62-65.
- POURQUIÉ [1936], "Le Traitement rationnel des Problèmes Economiques", *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 29-30, fev. mars avril 1936, pp. 25-29.
- ROY R. [1938], "Les origines de l'économie scientifique", *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 51, novembre 1938, pp. 11-17, suivi d'une discussion pp. 17-21.
- RUEFF J. [1922], *Des Sciences physiques aux Sciences Morales - Un Essai de 1922 reconsidéré en 1969*, Paris, Petite Bibliothèque Payot, 1969.
- SIMIAND F. [1933], "Le déroulement de la Crise Mondiale", *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 4-5, juillet 1933.
- ULLMO J. [1936] "Le réel et la science", *Revue philosophique*, novembre-décembre 1936.
- ULLMO J. [1937] "Les problèmes théoriques de l'énergie dirigée," *Bulletin du C.P.E.E.*, n° 36, mars 1937, pp. 7-19, suivi d'une discussion pp. 20-21.
- ULLMO J. [1969] *La pensée scientifique moderne*, Paris, Champs-Flammarion, 1969.