



Microprocesseur et dynamique de l'économie mondiale : une liaison ?

Anjara Lalaina Jocelyn Rakotoarisoa

► To cite this version:

Anjara Lalaina Jocelyn Rakotoarisoa. Microprocesseur et dynamique de l'économie mondiale : une liaison ?. 2023. <hal-04147638>

HAL Id: hal-04147638

<https://hal.science/hal-04147638v1>

Preprint submitted on 10 Aug 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.



HAL Authorization



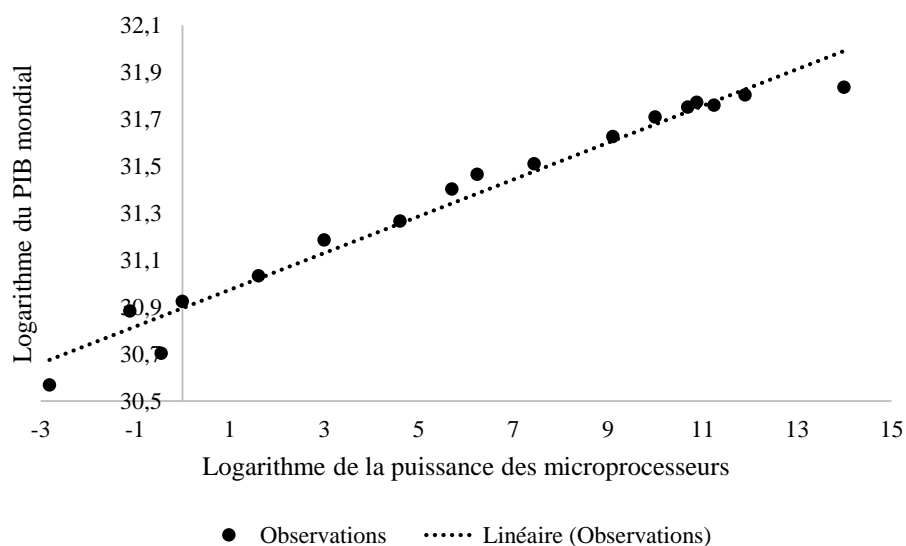
Microprocesseur et dynamique de l'économie mondiale : une liaison ?

A.J. Lalaina Rakotoarisoa
Mai 2023

Propos introductifs, cadres théoriques et littératures

La question entre la progression de la puissance de calculs des microprocesseurs et celle des activités économiques réside surtout dans le progrès technique induit par l'évolution de cette puissance informatique. Cette question de progrès est implémentée dans les modèles de croissance, tant exogènes qu'endogènes, mais le point concernant spécifiquement la puissance des microprocesseurs n'est pas tellement précisé. Même si le modèle de Solow met en avant le progrès technique comme source de croissance, lui-même a affirmé qu'« *On peut voir les ordinateurs partout sauf dans les statistiques de productivité*¹ ». Cependant, des études (Greenan, Mairesse, 2000) ont constaté que les entreprises qui ont un taux d'équipement informatique plus élevé escomptent des productivités apparentes relativement supérieures². De plus, une autre investigation (Bensaid, Greenan, Mairesse, 1997, 2000) a conclu que les industries qui utilisent le plus des systèmes informatiques bénéficient des gains de productivité au niveau de leurs facteurs³. Toutefois, les écrits ne sont pas unanimes car, en guise d'illustration, Greenan et Mangematin (1999) ont aussi fait remarquer que les technologies d'informations et de communication peuvent même avoir un effet négatif sur la productivité⁴. Face à ces divers aperçus, le présent bulletin part d'un simple constat graphique qui montre que, il semble, la production mondiale et l'évolution de la puissance des microprocesseurs sont régies par une liaison significative :

Figure 1 : Liaison entre PIB mondial et puissance des processeurs



Source : Auteur (à partir du WDI et de Wikipédia)

L'objet du présent petit article consiste alors à vérifier si, d'une manière directe, cette liaison est significative et possède une validité statistique. D'où la question qu'il se pose dans son intitulé même : « Microprocesseur et dynamique de l'économie mondiale : une liaison ? ».

¹ Robert Solow, « You can see the computer age everywhere, but in the productivity statistics », New York Times Book Review, Juillet 1987.

² Nathalie Greenan, Yannick L'Horty, « La paradoxe de la productivité », Travail et Emploi no 91, Juillet 2002.

³ Nathalie Greenan, Yannick L'Horty, « La paradoxe de la productivité », Travail et Emploi no 91, Juillet 2002.

⁴ Nathalie Greenan, Yannick L'Horty, « La paradoxe de la productivité », Travail et Emploi no 91, Juillet 2002

Méthodes

La méthode qui va permettre de détecter cette éventuelle liaison repose sur une hypothèse linéaire entre la puissance des microprocesseurs et du PIB mondial. En effet, l'objet du présent article consiste à la vérification de la liaison de type affine est valable pour la concordance entre ces deux variables sous la forme :

$$\ln(PIB) = c + \gamma \ln(P) + e$$

Avec :

PIB : produit intérieur brut mondial (en dollars constants aux prix de 2015)

P : puissance de calcul des microprocesseurs (en millions d'instructions par seconde)

e : erreurs/résidus commis(es) par le modèle lors de la régression

L'hypothèse principale est ainsi vérifiée lorsque ce modèle de liaison est valable, résistant aux tests classiques élémentaires nécessaires prouvant que le résidu reste un bruit blanc. Ce qui revient au fait que, cette relation est validée si les résidus sont normalement distribués, qu'ils ne sont pas aussi autocorrélés et qu'ils soient homoscedastiques.

Tableau 1 : Méthodes de vérifications

Test	Propos
Test de Fisher	Ce test permet de vérifier si, globalement, le modèle est significatif et est capable d'expliquer la réalité.
Test de normalité de Jarque-Bera	Ce test permet de vérifier si les erreurs commises par le modèle sont normalement distribuées. Dans cette étude, il est conjugué avec un test de nullité pour savoir si l'espérance des erreurs est nulle.
Test d'aurocorrélation de Breusch-Godfrey	Ce test sert à savoir si les erreurs commises sont indépendantes entre-elles. Autrement dits, il permet de détecter si les erreurs de chaque point d'ajustement n'influence pas les autres.
Test d'hétéroscedasticité de Breusch-Pagan-Godfrey	Ce test permet de vérifier si la marge de fluctuation ou la variance des erreurs commises par le modèle reste constante. Si c'est le cas, la fluctuation des erreurs est alors jugulable.
Test de Ljung-Box	Ce test permet de vérifier si les erreurs sont des bruits blancs. Si tel est le cas, le modèle est ainsi validé.

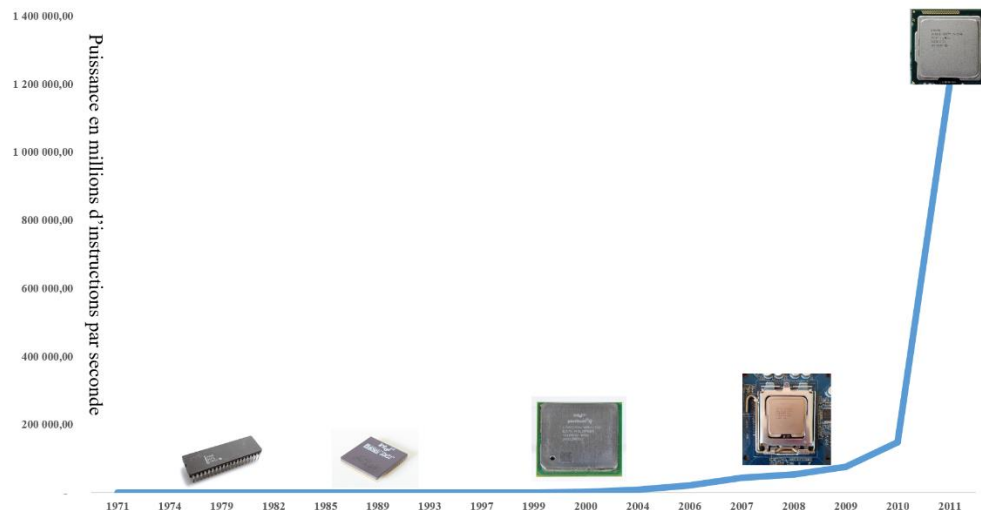
Chaque test est validé lorsque la probabilité critique est supérieure au seuil de validation (en générale 0.05). Sauf pour la probabilité critique du test de Fisher. Dans celui-ci, le modèle est globalement significatif si la probabilité critique est inférieure au seuil de validation.

Le recours au test CUSUM est également retenu afin de vérifier si le modèle reste stable malgré certains changements. Le test CUSUM-Q, quant à lui, permet de vérifier si la variation induite par des changements demeure non significative.

Evolution de la puissance des microprocesseurs et du PIB mondial

La puissance de calcul des microprocesseurs a connu des sauts remarquables, surtout depuis le début des années 2000. Si sa puissance moyenne n'était encore que de 0.06 million d'instructions par seconde en 1971, elle a atteint presque 1.2 millions d'instructions par seconde en 2011. Ce qui correspond à une augmentation de puissance de plus de trois milliards pourcent en l'espace de 40 ans seulement.

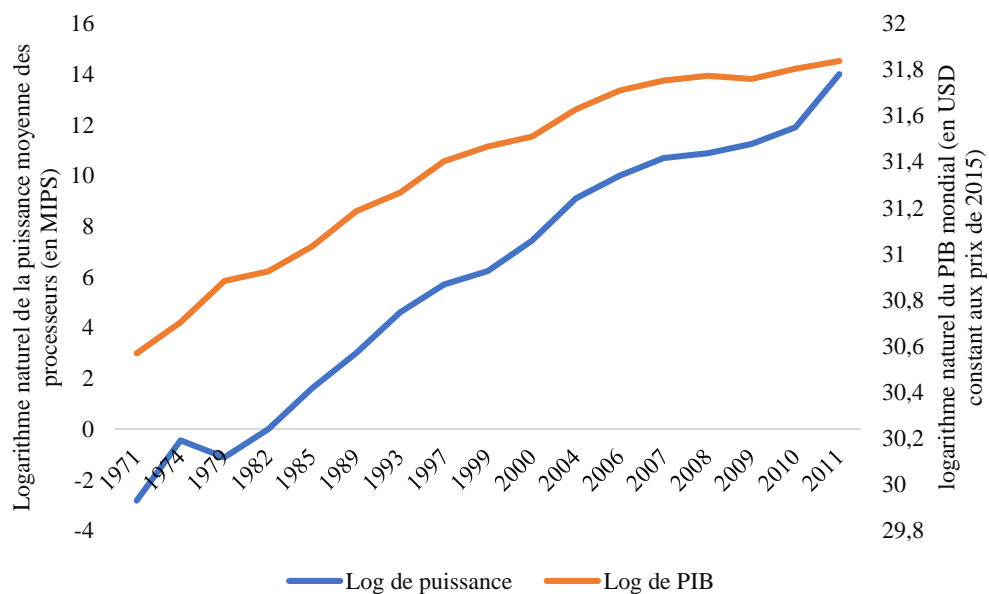
Figure 2 : Evolution de la puissance de calcul des microprocesseurs



Source : Auteur

Soumises sous un régime logarithmique, l'évolution de la puissance des microprocesseurs et celle du PIB semble avoir une relation linéaire très forte. En effet, le coefficient de corrélation entre celles-ci vaut 0.9845, ce qui est équivalent à un coefficient de détermination de 96.93 %.

Figure 3 : Evolution logarithmique du PIB mondial et celle de la puissance des microprocesseurs



Source : Wikipédia et WDI

Résultat sur l'éventuelle liaison

Le résultat sur la régression montre que le coefficient de liaison entre la puissance en logarithme de la puissance des processeurs et le logarithme naturel du PIB mondial est positif, avec une valeur de 0.078284. De plus, sa marge de variation est de 0.06241 à 0.09414⁵ et il est fortement significatif⁶, possédant ainsi une liaison forte avec le PIB. Ce qui traduit que le PIB mondial est une fonction croissante de la puissance des processeurs⁷. Un accroissement de la puissance des microprocesseurs devrait alors emmener vers une augmentation de la production économique mondiale.

Tableau 2 : Résultat de la régression

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 30.894649   0.028205 1095.4 < 2e-16 ***
lmips       0.078284   0.003592   21.8 9.04e-13 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.07499 on 15 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9694,    Adjusted R-squared:  0.9674
F-statistic: 475.1 on 1 and 15 DF,  p-value: 9.041e-13

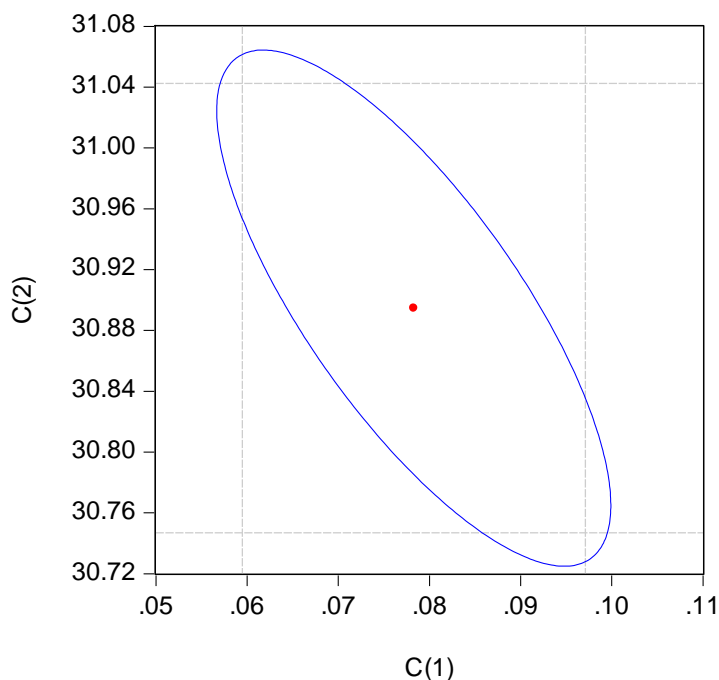
```

Tableau 3 : Intervalle de confiance du coefficient de liaison

	0.0005 %	99.9995 %
(Intercept)	30.77006270	31.01923520
lmips	0.06241903	0.09414814

Source : Auteur

Figure 4 : Graphique de l'intervalle de confiance du coefficient de liaison (c(1))



Source : Auteur

⁵ A 99.9995 % de certitude

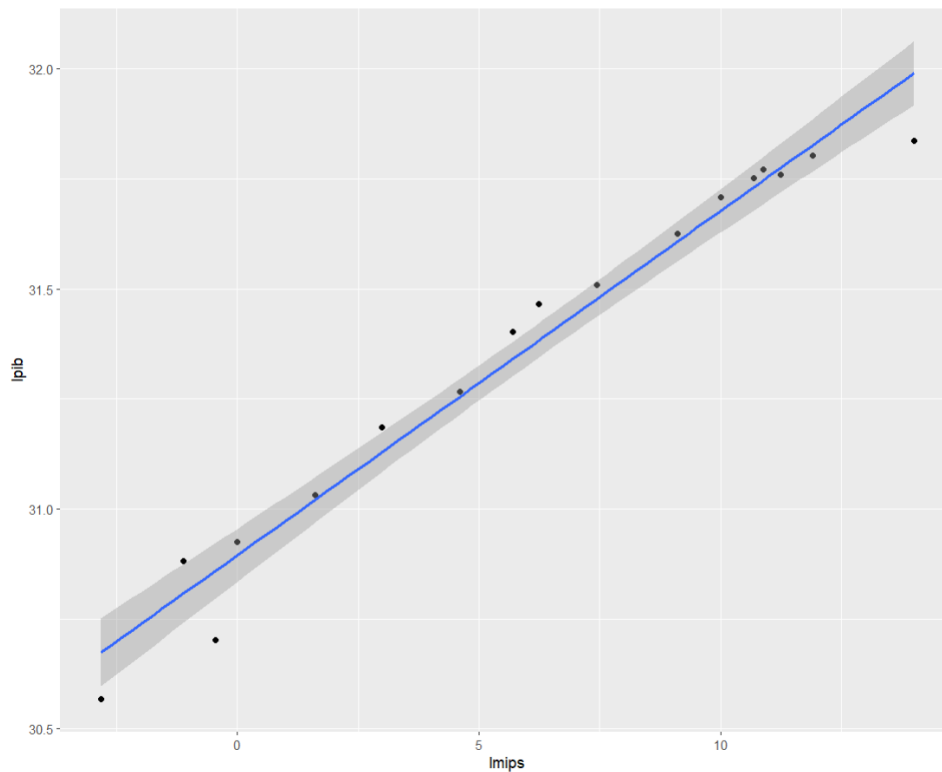
⁶ A 99.99 % de certitude

⁷ Ceteris paribus

En regardant ce résultat, la probabilité critique relative au test de Fisher montre que le modèle est globalement valable. Ce qui veut dire que LPIB et LMIPS admettent une liaison linéaire globale dans la réalité. Le coefficient de détermination arrive aussi au-delà de 96 %, signifiant que ce modèle possède un pouvoir explicatif de plus de 95 % au niveau de la réalité⁸.

La figure suivante retrace l'aspect graphique dudit résultat, combiné avec le nuage des points qui illustrent visuellement l'éventuelle liaison entre la puissance des microprocesseurs (lmips) et la production mondiale (lpib) :

Figure 5 : Nuage de points et droite de régression



Source : Auteur

Test de normalité des erreurs :

Les résidus sont normalement distribués et de moyenne tendant à être nulle :

Tableau 4 : Test de normalité des erreurs

Jarque Bera Test

```
data: residuals(model)
X-squared = 4.2763, df = 2, p-value = 0.1179
```

Tableau 5 : Test de nullité des erreurs

```
data: res
t = -4.6537e-17, df = 16, p-value = 1
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.03733234 0.03733234
sample estimates:
mean of x
-8.195293e-19
```

⁸ Ceteris paribus

Test d'autocorrélation (Breusch-Godfrey) : les erreurs ne sont pas autocorrélés :

Tableau 6 : Test d'autocorrélation des erreurs

Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1

data: model

LM test = 1.9936, df = 1, p-value = 0.158

Test d'hétéroscédasticité (Breusch-Pagan) : les erreurs sont homosctédastiques :

Tableau 7 : Test d'hétéroscédasticité des erreurs

studentized Breusch-Pagan test

data: model

BP = 0.43896, df = 1, p-value = 0.5076

Tableau 8 : Test de Ljung-Box

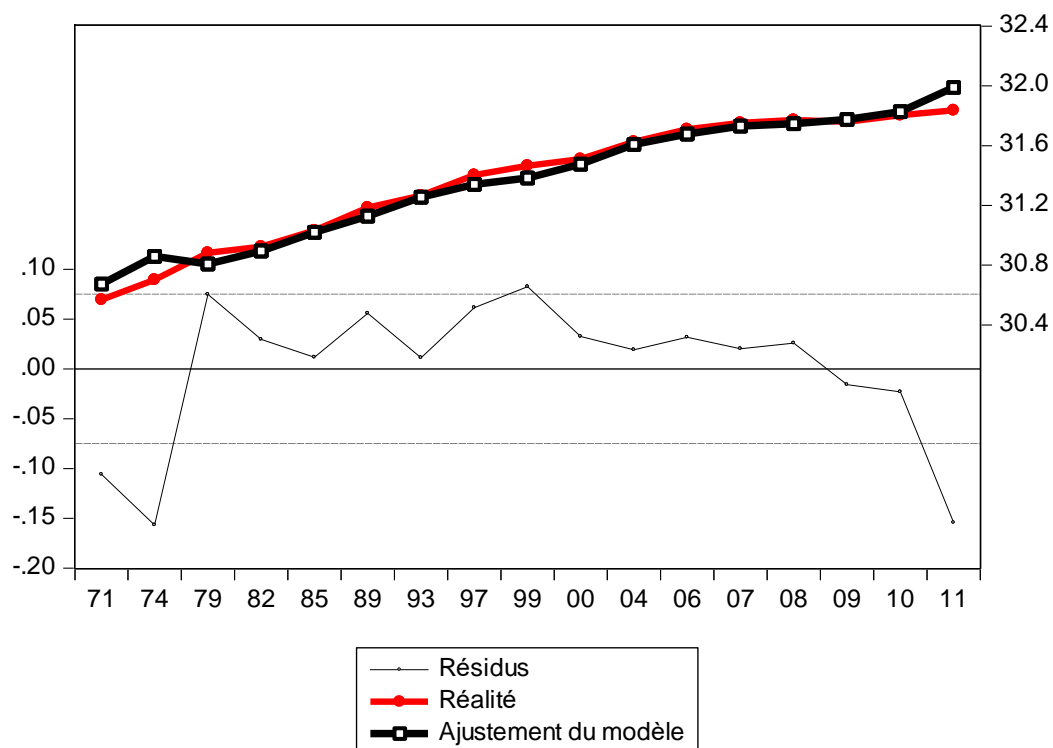
Box-Ljung test

data: res

X-squared = 10.873, df = 12, p-value = 0.5398

Chaque test révèle que les résidus du modèle de liaison linéaire sont à la fois normalement distribués avec une moyenne nulle, qu'ils ne sont pas autocorrélés et qu'ils ne sont pas aussi hétéroscédastiques. De plus, le test de Ljung-Box dit que les erreurs constituent un bruit blanc. La figure suivante montre que la réalité est presque quasi-confondue avec le résultat issu de l'ajustement du modèle :

Figure 6 : Réalité versus ajustement du modèle



Source : Auteur

Conclusion

Ce bulletin partait d'un simple constat graphique entre une éventuelle liaison entre la puissance des processeurs et de la production mondiale. Une analyse directe de cette probable liaison a été ainsi faite afin de vérifier si cette relation est statistiquement significative, d'où le recours à l'utilisation d'une régression. Un modèle linéaire simple a été obtenu à cet effet, et les erreurs issues de celui-ci constituent un bruit blanc. Elles sont à la fois gaussiennes (normalement distribuées), dotées d'une espérance nulle, non autocorrélées et homoscedastiques (leur variance est constante). De plus, le test de Fisher a révélé que le modèle en question est globalement significatif, tout en sachant que le coefficient de liaison entre LPIB et LMIPS est très fortement significatif. Nous ne pouvons donc pas écarter le fait que, dans le cas de l'économie mondiale, la puissance de calcul des microprocesseurs et le PIB possède une liaison non négligeable.

Cependant, cette étude n'a pas la motivation de voir les canaux à travers lesquels cette liaison se forge ou bien la question de causalité entre ces variables. Toutefois, des telles thématiques pourraient constituer des points marquants dans la constitution et le renforcement des acquis en matière d'économie de la technologie et/ou de l'économie numérique.

Références

AUDENIS, DEROYON et FOURCADE [2005], « L'impact des nouvelles technologies de l'information et de la communication sur l'économie française. Un bouclage macro économique », *Revue économique*
AZKENAZY Ph. et GIANELLA Ch. [2000], « Le paradoxe de la productivité : les changements organisationnels facteurs complémentaires à l'information », *Économie et Statistique*

BELORGEY N., LECAT R., MAURY T. [2004], « Determinants of Productivity per Employee: an Empirical Estimation Using Panel Data », *Bulletin de la Banque de France Digest*

BENSAID A., GREENAN N. et MAIRESSE J., « Information Technology and Research and Development Impacts on Productivity and Skills : Looking for Correlations on French Firm-Level Data », in M. POHJOLA (ed.), *Information Technology productivity and Economic growth*, Oxford University Press,

BENSAID A., GREENAN N. et MAIRESSE J., « Informatisation, recherche et productivité », *Revue économique*, Vol. 48

BROUSSEAU E. et RALLET A. (dir.) [1999], *Technologies de l'information, organisation et performances économiques*, Paris, Commissariat général du Plan

CETTE, G., MAIRESSE J. et KOCOGLU Y., « Croissance économique et diffusion des TIC : le cas de la France sur longue période », *Revue Française d'Economie*

CREÏPON B. et HECKEL T., « La contribution de l'informatisation à la croissance française », *Economie et Statistique*

DI NARDO J. E. et PISCHKE J. S., « The Returns to Computer Use Revisited : Have Pencils Changed the wage Structure Too », *Quarterly Journal of Economics*

GREENAN N. et MANGEMATIN V., « Informatisation, organisation et performances : autour du paradoxe de la productivité » in FORAY D. et MAIRESSE J. (Dir.), *Innovation et performance*, Editions de l'Ecole des hautes études en sciences sociales

JORGENSEN D. W., « Information Technology and the US Economy », *The American Economic Review*

Nathalie Greenan, Yannick L'Horty, « La paradoxe de la productivité », *Travail et Emploi* no 91, Juillet 2002
Pierre-Alain Muet, "Impacts économiques de la révolution numérique", *Revue Economique* 2006/3, Presses de Sciences Po, 2006

Robert Solow, « You can see the computer age everywhere, but in the productivity statistics », *New York Times Book Review*, Juillet 1987

SICHEL D. E., *The Computer Revolution: an Economic Perspective*, Brookings Institution Press, Washington D.C

WHELAN K., « Computers, Obsolescence and Productivity », *Federal Reserve Board, Finance and Economic Discussion Series Paper*

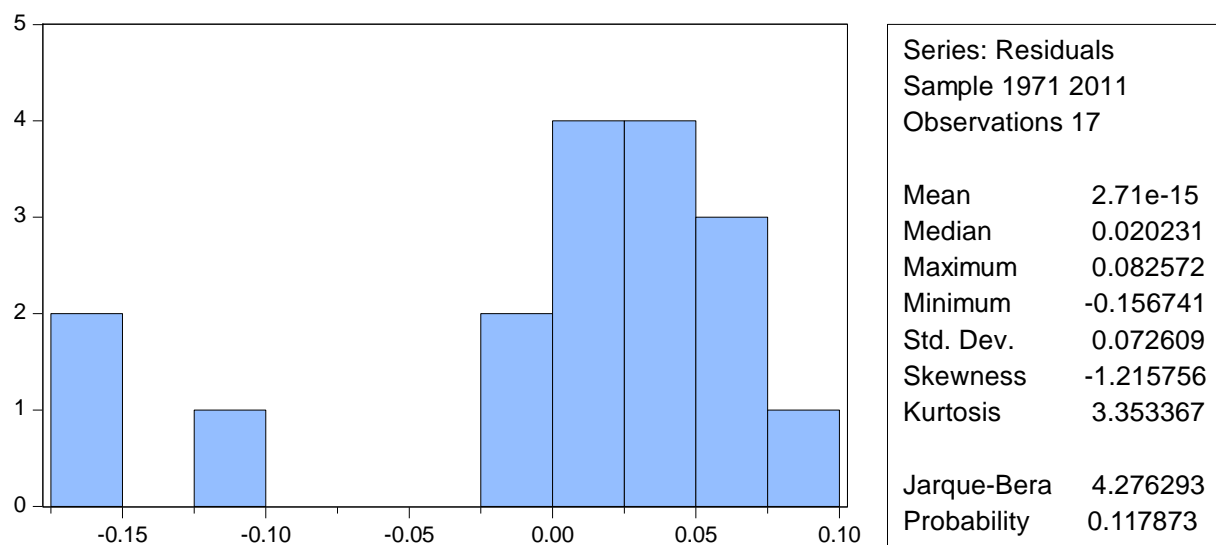
Annexe 1 : Résultat de la régression sur Eviews

Dependent Variable: LPIB
Method: Least Squares
Date: 05/15/23 Time: 20:00
Sample: 1971 2011
Included observations: 17

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LMIPS	0.078284	0.003592	21.79653	0.0000
C	30.89465	0.028205	1095.362	0.0000
R-squared	0.969393	Mean dependent var	31.36452	
Adjusted R-squared	0.967353	S.D. dependent var	0.415035	
S.E. of regression	0.074991	Akaike info criterion	-2.232773	
Sum squared resid	0.084354	Schwarz criterion	-2.134748	
Log likelihood	20.97857	Hannan-Quinn criter.	-2.223030	
F-statistic	475.0886	Durbin-Watson stat	1.037066	
Prob(F-statistic)	0.000000			

La probabilité critique du test de Fisher est inférieure à moins de 0.01. Il est donc certain à plus de 99.99 % que le modèle est globalement significatif. Il est ainsi capable d'expliquer la réalité. De plus, celle du coefficient de liaison entre LPIB et LMIPS, qui vaut 0.078284, est aussi inférieure à moins de 0.01. Ce vecteur directeur est donc significatif à plus de 99.9 % de certitude.

Annexe 2 : Test de normalité des résidus sur Eviews



La probabilité critique du test est supérieure à 0.05. Les erreurs sont ainsi normalement distribués.

Annexe 3 : Test d'autocorrélation sur Eviews

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

F-statistic	1.859872	Prob. F(1,14)	0.1942
Obs*R-squared	1.993574	Prob. Chi-Square(1)	0.1580

Test Equation:

Dependent Variable: RESID

Method: Least Squares

Date: 05/15/23 Time: 21:10

Sample: 1971 2011

Included observations: 17

Presample missing value lagged residuals set to zero.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LMIPS	-0.001490	0.003660	-0.407064	0.6901
C	0.005049	0.027678	0.182416	0.8579
RESID(-1)	0.428609	0.314282	1.363771	0.1942
R-squared	0.117269	Mean dependent var	2.71E-15	
Adjusted R-squared	-0.008835	S.D. dependent var	0.072609	
S.E. of regression	0.072930	Akaike info criterion	-2.239861	
Sum squared resid	0.074462	Schwarz criterion	-2.092824	
Log likelihood	22.03882	Hannan-Quinn criter.	-2.225245	
F-statistic	0.929936	Durbin-Watson stat	1.578882	
Prob(F-statistic)	0.417637			

Annexe 4 : Test d'hétéroscédasticité des résidus sur Eviews

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey

F-statistic	0.397587	Prob. F(1,15)	0.5378
Obs*R-squared	0.438963	Prob. Chi-Square(1)	0.5076
Scaled explained SS	0.402135	Prob. Chi-Square(1)	0.5260

Test Equation:

Dependent Variable: RESID^2

Method: Least Squares

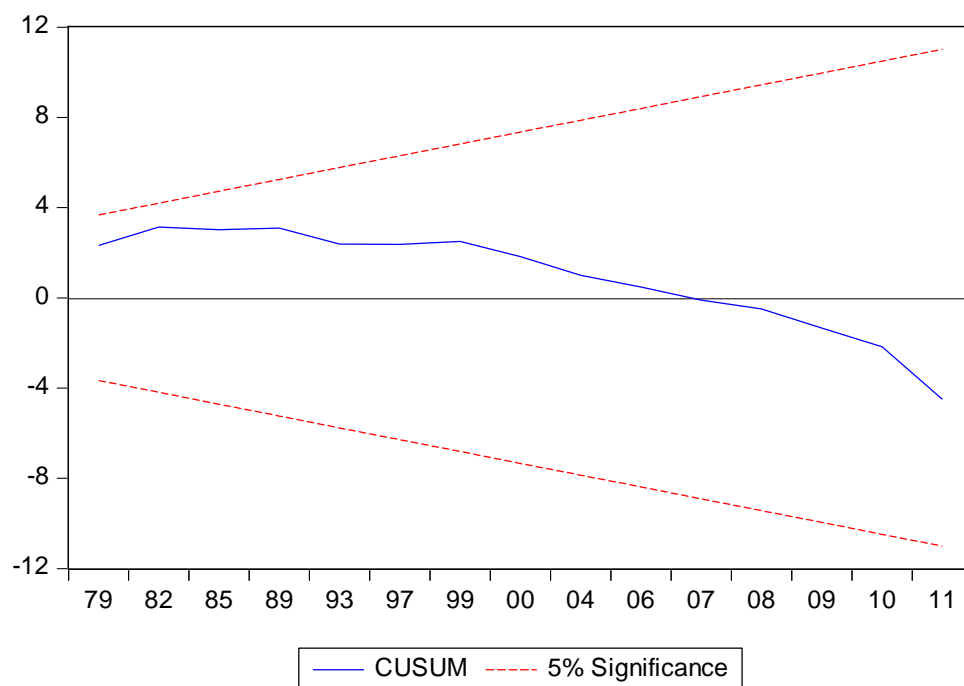
Date: 05/15/23 Time: 21:11

Sample: 1971 2011

Included observations: 17

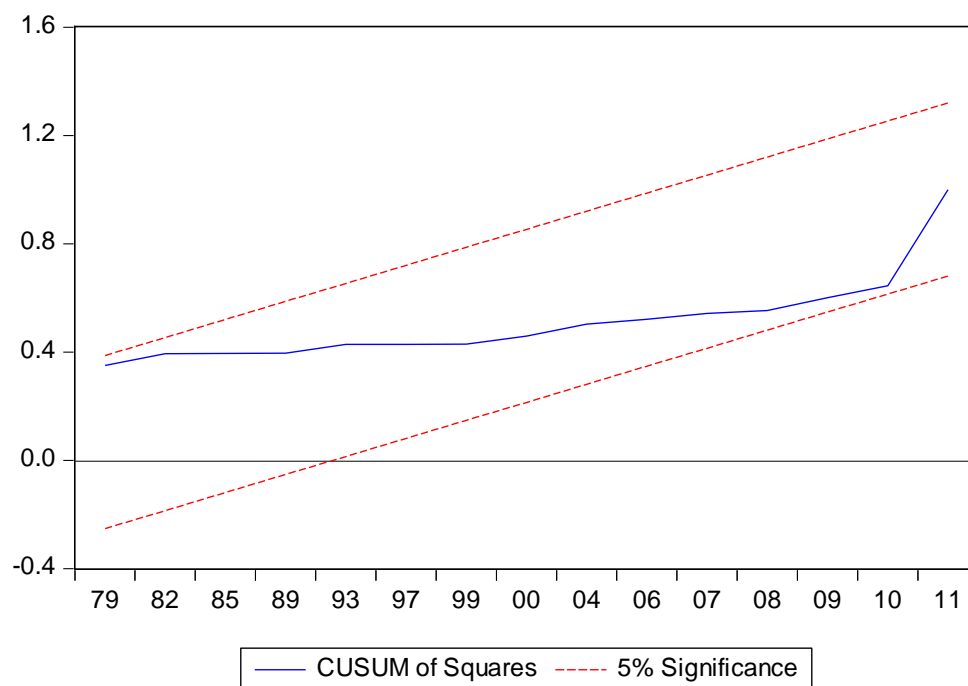
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.006412	0.003008	2.131381	0.0500
LMIPS	-0.000242	0.000383	-0.630545	0.5378
R-squared	0.025821	Mean dependent var		0.004962
Adjusted R-squared	-0.039124	S.D. dependent var		0.007846
S.E. of regression	0.007998	Akaike info criterion		-6.709032
Sum squared resid	0.000960	Schwarz criterion		-6.611007
Log likelihood	59.02677	Hannan-Quinn criter.		-6.699288
F-statistic	0.397587	Durbin-Watson stat		1.272600
Prob(F-statistic)	0.537827			

Annexe 5 : Test CUSUM



































La trajectoire de CUSUM reste dans le corridor, le modèle est alors stable et résiste au changement.

Annexe 6 : Test CUSUM carré



La trajectoire de CUSUM reste dans le corridor, le modèle est alors stable et résiste au changement.

Annexe 8 : Autocorrélation et autocorrélations partielles des résidus

Date: 05/15/23 Time: 21:13						
Sample: 1971 2011						
Included observations: 17						
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.274	0.274	1.5112	0.219
		2	0.021	-0.058	1.5210	0.467
		3	0.062	0.077	1.6087	0.657
		4	-0.048	-0.094	1.6668	0.797
		5	-0.015	0.031	1.6732	0.892
		6	-0.058	-0.078	1.7715	0.939
		7	-0.268	-0.243	4.0849	0.770
		8	-0.286	-0.179	7.0262	0.534
		9	-0.164	-0.068	8.1059	0.524
		10	-0.094	-0.037	8.5098	0.579
		11	-0.166	-0.181	9.9870	0.532
		12	-0.117	-0.083	10.873	0.540
		13	-0.077	-0.100	11.356	0.581
		14	-0.074	-0.147	11.941	0.611
		15	0.316	0.274	28.063	0.021
		16	0.194	-0.076	40.215	0.001

Ce graphe montre que les termes des corrélogrammes des erreurs restent confinés dans les corridors, tant pour l'autocorrélation que pour l'autocorrélation partielle. Les résidus du modèle constituent donc un bruit blanc.