

La rente : analyse néo-ricardienne des interactions entre environnement et économie, lien avec l'écologie économique

Yoann Verger - REEDS, UVSQ

30/05/2014

Cet article étudie le traitement de la rente dans la théorie néo-ricardienne, et ses applications dans le domaine du management des ressources environnementales. Il fait ensuite le lien avec des propositions en économie écologique, visant à traduire le conflit des valeurs entourant l'environnement dans un cadre néo-ricardien. Il conclut enfin sur la nécessité d'une approche macro-économique tirant parti à la fois des enseignements néo-ricardiens et de la théorie en économie écologique, afin de comprendre les relations entre environnement et écologie.

Contents

1	Introduction	2
2	La rente chez SRAFFA	4
2.1	Le système de production comme base du système de valeur	4
2.2	Les biens basiques et non basiques	5
2.3	La rente	7
3	La rente différentielle chez les néo-ricardiens	8
3.1	L'ordre de fertilité	8
3.2	L'interprétation de LIPPIETZ	9
3.3	Les autres rentes	10
4	La rente comme management des ressources naturelles	11
4.1	Les ressources naturelles en économie	11
4.1.1	Chez les marginalistes	11
4.1.2	Chez les néo-ricardiens	12
4.2	Deux modèles néo-ricardiens	13
4.2.1	Rareté et environnement	13
4.2.2	Kurz et Salvadori : dynamique	15
5	La rente en économie écologique	18
5.1	PERRINGS : rentes et externalités environnementales	19
5.1.1	Système de valeur et système de production	19
5.1.2	Système de prix	20

5.1.3	Evolution du système de prix	20
5.1.4	Rente environnementale et externalités	21
5.2	O'CONNOR : rente et environnement comme source de biens basiques	21
6	Résumé des propositions	22
6.1	Hypothèses sous-tendant les différentes rentes	22
6.2	Illustration via un modèle simple	24
7	Conclusion : quel lien entre économie écologique et économie néo-ricardienne ?	25

1 Introduction

QUESNAY est le premier à introduire le concept de rente dans un modèle économique : son fameux Tableau Economique (présenté à Versailles en 1758 et reproduit en table 1, en réutilisant la présentation qu'en fait Pasinetti, Pasinetti [1975]). Le surplus du système est représenté par l'ensemble des biens dont dispose l'aristocratie à la fin de la période (3^{ème} colonne) et par l'ensemble de la valeur ajoutée créée à la fin de la période, qui revient aux aristocrates sous formes de rente pour l'utilisation de la terre (4^{ème} ligne).

Table 1: Le Tableau économique sous forme de tableau entrées-sorties (les chiffres sont en milliards) (Pasinetti [1975])

<i>Entrées</i>		<i>Sorties</i>			
		Classe productive	Classe stérile	Classe aristocratique	Total général
Classe productive	- produits alimentaires	1	1	1	} 5
	- matières premières	1	1	-	
Classe stérile		1	-	1	2
Classe aristocratique		2	-	-	(2)
Total général		5	2	(2)	7

La valeur ajoutée provient alors uniquement de l'utilisation de la terre. Cette vision de la rente comme révélateur de la seule vraie source de richesse du système sera reprise de nos jours, dans les 70-80, par des économistes écologiques voyant dans la valeur énergie, et dans l'énergie solaire en particulier, le seul input réellement nécessaire et réellement extérieur au système de production, et donc susceptible de fournir une mesure de la richesse créée par le système (que ce soit la valeur-énergie que peut fournir un objet, cf. Odum and Odum [1981] ou la valeur-énergie comme coût de production, cf. Costanza [1980], Costanza and Neill [1981, 1984]). Si cette vision a été critiquée au sein même de l'économie écologique (Georgescu-Roegen [1979], Daly [1982]), ce papier tente

d'analyser l'intérêt d'une troisième vision de la rente (Perrings [1987], O'Connor [1993]) développée au sein du courant de l'économie écologique, mais dans un cadre néo-ricardien, et qui pose l'hypothèse que l'environnement est créateur de richesse, et que le versement d'une rente pour la protection de l'environnement symbolise la prise en compte de ce service.

Avant d'aborder cette troisième vision (section 5), mon article est divisé comme suit : j'aborde en premier lieu le traitement de la rente chez Sraffa (section 2), puis comment le traitement de la rente différentielle a été développée chez les néo-ricardiens (section 3), puis enfin comment le concept de rente a été utilisé dans le cadre du management des ressources naturelles, et notamment des ressources non-renouvelables (section 4).

Mais tout d'abord une explication de l'intérêt pour la théorie néo-ricardienne. Cette théorie, comme son nom l'indique assez clairement, part des enseignements de RICARDO. Au début du XIX^{ème} siècle, celui-ci va élaborer une théorie économique cohérente (Ricardo [1817]), comportant à la fois une théorie de la valeur et une théorie de la répartition. Il développe notamment, à partir d'une série d'essai (Malthus [1815a,b], West [1815], Torrens [1815], Ricardo [1815]), une conception de la rente différentielle : soit extensive (lorsque différentes qualités d'une ressource sont utilisées en même temps dans un système de production), soit intensive (lorsque différentes techniques produisant le même bien sont utilisées en même temps). La rente représente alors le paiement de la différence de rentabilité entre la méthode considérée et la méthode la moins rentable (appelée aussi méthode marginale, celle qui ne génère pas de rente), le prix du bien produit par les différentes méthodes étant fixé en fonction de la dernière citée.

C'est ce système, cette théorie économique et cette vision de la rente qui sera reprise par les néo-ricardiens.

Mais RICARDO pose également des hypothèses plus contestables : la "loi des rendements décroissants" développée dans les essais pré-cités (les ressources de meilleures qualités sont les premières utilisées, tout comme les techniques les plus rentables) et l'absence de progrès technique dans l'agriculture, le secteur où il applique sa théorie de la rente différentielle. Or ces hypothèses seront reprises, consciemment ou non, par les marginalistes, qui vont élargir le champ d'application de la rente intensive à tous les secteurs et à tous les facteurs de production (par exemple, Clark [1899], Wicksell [1934]).

Cet élargissement abusif entraîne plusieurs conséquences (Pasinetti [1999, 2000]) : l'abandon dans l'analyse économique de l'étude du progrès technique d'une part, d'autre part l'identification de tous les facteurs de production au facteur *terre*, et par là l'abandon d'une réelle théorie de la distribution, via l'émergence de la *fonction de production néoclassique* (souvent de type Cobb-Douglas, Cobb and Douglas [1928]), fonction sans aucun fondement théorique (Robinson [1953-1954]), ni empirique (Sylos Labini [1995]).

C'est en opposition à ces conséquences que SRAFFA et les néo-ricardiens vont tenter de reconstruire une analyse économique en repartant des bases initiales de RICARDO.

2 La rente chez SRAFFA

2.1 Le système de production comme base du système de valeur

L'analyse de Sraffa et de Pasinetti s'est construite en totale opposition avec l'analyse marginaliste (Sraffa [1960], Pasinetti [1975], p. 193-197) : dans leur modèle, les marchandises sont produites, elles ne sont pas données en début de période. La valeur d'une ressource ne provient pas alors de sa rareté relative, mais de son coût de production : les prix ne sont pas la rémunération de la productivité marginale de chaque facteur, mais l'expression des quantités de travail (pondérées par les taux de profit correspondants) nécessaires à la production du bien. Si un bien est plus demandé, il sera plus produit : son coût n'augmentera donc pas pour autant. Si une ressource est plus produite, son coût à l'unité ne baissera pas forcément : cela dépend des hypothèses sur les rendements constants, décroissants ou croissants. Plus fondamentalement, parler de productivité marginale ne veut rien dire : si on rajoute une unité de terre à un processus de production de blé, sans rajouter parallèlement une unité de travail, la productivité marginale de ce bout de terre sera nulle. Il n'y a pas substitution, il y a complémentarité des facteurs.

Comme le disent LÉVY et DUMÉNIL (Lvy and Dumnil [1982]), '*que la technique soit telle que l'affectation du travail aux produits soulève ou ne soulève pas de problèmes, on sait qu'en production capitaliste les marchandises n'ont aucune raison de s'échanger à des prix proportionnels aux valeurs. Par contre, on peut envisager un état idéal de la concurrence tel que la mobilité du capital aboutisse à l'équitémunération des capitaux et du travail, c'est-à-dire à la formation de prix de production*'. Les prix sont ainsi censés, sur le long terme, graviter autour des prix de production, ou *prix naturels* : la compétition élimine les techniques les moins rentables (en termes de taux de profit), ce qui rend les prix uniques pour chaque marchandise et uniformise le taux de profit.

SRAFFA et PASINETTI proposent de déterminer ces prix grâce au système de valeur suivant :

$$\mathbf{pA}(1 + \pi) + \mathbf{a}_n w = \mathbf{p} \quad (2.1)$$

Avec \mathbf{A} la matrice des coefficients techniques de dimension $n - 1, n - 1$, \mathbf{p} le vecteur ligne des $n - 1$ prix, \mathbf{a}_n le vecteur ligne des $n - 1$ coefficients de travail direct, w le taux de salaire, ou salaire par unité de travail, correspondant à la part du surplus destinée aux travailleurs ω divisée par la quantité de travail, et π le taux de profit correspondant à la valeur de la part du surplus destiné aux capitalistes. Le taux de salaire et le taux de surplus sont considérés uniformes dans toutes les branches de production.

La solution est généralement de la forme :

$$\mathbf{p} = \mathbf{a}_n [\mathbf{I} - (1 + \pi) \mathbf{A}]^{-1} w \quad (2.2)$$

Dans le cas où $\pi = 0$ et où l'on pose comme numéraire le salaire $w = 1$, on obtient une relation simplifiée :

$$\mathbf{v} = \mathbf{p} = \mathbf{a}_n (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (2.3)$$

Avec \mathbf{v} les coefficients de travail verticalement intégrés représentant 'les quantités de travail directement et indirectement "incorporées" dans chaque unité physique de marchandises qui forment le produit net du système (ce que Marx appelait, par définition, "valeurs")' (Pasinetti [1975], p. 79).

Dans le cas général, il est possible de décomposer les prix sous la forme d'une suite :

$$\mathbf{p} = \mathbf{a}_n w + (1 + \pi) \mathbf{a}_n \mathbf{A} w + (1 + \pi)^2 \mathbf{a}_n \mathbf{A}^2 w + \dots \quad (2.4)$$

Pasinetti conclut donc : 'Les prix de production sont des quantités physiques de travail, pondérées par le taux de profit composé correspondant à leur dates conceptuelles d'application' (Pasinetti [1975], p. 197).

Le taux de profit est généralement de la forme :

$$\pi = (1 - \omega) \frac{\mathbf{p}(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{q}}{\mathbf{p}\mathbf{A}\mathbf{q}} \quad (2.5)$$

Avec \mathbf{q} le vecteur colonne des quantités produites à chaque période. En posant la marchandise 1 comme numéraire, avec $p_1 = 1$, on peut représenter la première équation du système 2.1 :

$$1 = \mathbf{a}_n [\mathbf{I} - (1 + \pi) \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{e}_1 w \quad (2.6)$$

Avec \mathbf{e}_1 représentant le premier vecteur colonne unité. Cette relation pose de manière claire qu'il existe une relation monotone strictement décroissante entre le taux de salaire et le taux de profit, l'une de ces deux variables étant définie de manière exogène (par un choix politique, par exemple).

2.2 Les biens basiques et non basiques

SRAFFA fait une différence entre biens basiques et non basiques : dans une matrice \mathbf{A} de dimension $n, 2n$, avec n processus en ligne et n biens en colonne (dans la matrice \mathbf{A} sont alignés d'abord les coefficients en input, puis en output), si un bien (ou un groupe de biens) apparaît dans k lignes, et que parmi ces k lignes, le nombre de lignes linéairement indépendantes n'est pas supérieure à 1, alors ce bien (ou ce groupe de biens) est non-basique (Sraffa [1960], § 60). Inversement, si le nombre de lignes indépendantes est supérieur à 1, ce bien est basique.

Ainsi, pour qu'un bien soit non-basique, la matrice formée par ces k lignes et $2n$ colonnes doit être de rang inférieur ou égal à 1. Dans le système de Sraffa, il est posé comme hypothèse qu'il y a au moins un bien basique, c'est-à-dire intervenant dans au moins 2 processus linéairement indépendants.

PASINETTI (Pasinetti [1975], p. 106-113) développe la distinction entre biens basiques et non basiques en prenant l'exemple d'une matrice \mathbf{A} de dimension n, n en production simple, avec les processus en colonne et les biens en ligne. Si la matrice \mathbf{A} est de rang n , c'est-à-dire si tous les processus sont linéairement indépendants (matrice irréductible), tous les biens sont basiques ; si la matrice \mathbf{A} est réductible, il est possible de la mettre sous la forme :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} & \dots & \mathbf{A}_{1s} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_{22} & \dots & \mathbf{A}_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{A}_{ss} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Avec les sous-matrices sur la diagonale \mathbf{A}_{ii} irréductibles et les sous-matrices sur la première ligne \mathbf{A}_{1i} possédant toutes au moins un élément strictement positif (pour que le système soit unique, et non une juxtaposition de systèmes différents). Les biens situés sur les lignes formant les sous-matrices \mathbf{A}_{1i} sont alors les biens basiques, les autres sont les biens non-basiques.

PASINETTI montre alors que les prix \mathbf{p}_1 des biens basiques ne dépendent que de la sous-matrice \mathbf{A}_{11} , c'est-à-dire de leurs seuls processus de production, et qu'ainsi l'équation 2.2 peut se réécrire :

$$\mathbf{p}_1 = \mathbf{a}_n [\mathbf{I} - (1 + \pi) \mathbf{A}_{11}]^{-1} w \quad (2.8)$$

Alors que les prix des biens non-basiques dépendent des processus de production des biens basiques. Il montre également que l'équation 2.6 reliant taux de profit et taux de salaire ne dépend également que de la sous-matrice \mathbf{A}_{11} , si le salaire est exprimé en termes d'une marchandise fondamentale :

$$1 = \mathbf{a}_n [\mathbf{I} - (1 + \pi) \mathbf{A}_{11}]^{-1} \mathbf{e}_1 w \quad (2.9)$$

Ainsi l'arrêt de la production d'une marchandise basiques entraîne l'arrêt de toutes les productions ; un changement dans la production d'une marchandise basique influence tous les prix, ainsi que la relation entre le taux de profit et le taux de salaire. Inversement l'arrêt de la production d'une marchandise non-basique n'entraîne pas l'arrêt de la production des machines basiques ; un changement dans la production d'une marchandise non-basique n'entraîne pas de changement dans les prix des marchandises basiques, pas plus que dans la relation entre le taux de profit et le taux de salaire.

Mais 2 hypothèses supportent ces raisonnements : la première, déjà évoquée, est qu'il existe au moins un bien basique *dont la production exige du travail*. La deuxième est que la valeur propre maximale de la matrice \mathbf{A} est égale à la valeur propre maximale de la sous-matrice \mathbf{A}_{11} . Cela revient, en production simple, à supposer que le taux d'auto-reproduction des biens non-basique est supérieur au taux d'auto-reproduction des biens basiques. Si cette deuxième hypothèse est vérifiée, en définissant un taux uniforme de surplus R par l'équation :

$$(1 + R) \mathbf{A} \mathbf{y} = \mathbf{y} \quad (2.10)$$

Avec \mathbf{y} le vecteur des niveaux d'activité de chaque processus (le vecteur d'activité est ici égal au vecteur des quantités produites \mathbf{q} car on est en production simple et que la matrice de technologie \mathbf{A} contient les coefficients pour la production d'une unité de chacun des $n - 1$ biens).

Ce taux de surplus uniforme sera associé à un unique vecteur non-négatif d'activité \mathbf{y}^* qui ne produira que des biens basiques (cet ensemble de biens produits par le système *étalon*, défini par un taux de surplus uniforme, est appelé *marchandise-étalon* car sa valeur par rapport à la valeur de ses moyens de production ne varie pas lorsque les taux de profit et de salaire varient) ; de

plus le taux de profit maximal $\Pi \equiv R$ sera lui aussi associé à un vecteur des prix \mathbf{p}^* unique et strictement positif (les prix des biens basiques comme non-basiques sont positifs).

Si cette deuxième hypothèse n'est pas vérifiée, on est en présence de sur-classement (Lvy and Dumnil [1982]) : il n'est alors pas toujours possible, lorsque l'on fait varier le taux de profit, d'assurer l'hypothèse de l'uniformité de ce taux de taux de profit, ni celle de l'unicité du prix de chaque unité de la même marchandise.

2.3 La rente

Concernant la rente Sraffa établit une différenciation entre la rente provenant de la rareté d'une ressource (ou rente intensive) et celle provenant de l'utilisation de différentes qualités d'une ressource (rente différentielle, qui ne peut exister que si la ressource de qualité supérieure est déjà totalement utilisée). Si des ressources naturelles sont rares, leurs propriétaires peuvent en obtenir une rente intensive (Sraffa [1960], § 85). Les ressources naturelles, non-produites par du travail, sont considérées par SRAFFA comme des biens non-basiques : elles apparaissent uniquement comme input dans la production, jamais comme output. Une taxe sur leurs prix n'affectera donc pas les prix des biens basiques.

La rente extensive apparaît lorsqu'il existe différentes qualités d'une même ressource naturelles. Il peut alors y avoir existence de différentes techniques pour la production du même bien, car les ressources naturelles de qualités différentes sont considérées comme des inputs différents. La qualité la moins productive ne génère aucune rente, les autres qualités génèrent alors des rentes extensives (Sraffa [1960], § 86).

SRAFFA prend l'exemple de la production du blé (coefficient k) par n terres de qualités différentes (Sraffa [1960], § 86). Il représente les n différentes techniques de production ainsi :

$$\begin{aligned} (a_{k_1,1}p_1 + a_{k_1,2}p_2 + \dots + a_{k_1,k}p_k + \dots + a_{k_1,m}p_m)(1 + \pi) + l_{k_1}w + \Lambda_1\rho_1 &= b_{k_1}p_k \\ (a_{k_2,1}p_1 + a_{k_2,2}p_2 + \dots + a_{k_2,k}p_k + \dots + a_{k_2,m}p_m)(1 + \pi) + l_{k_2}w + \Lambda_2\rho_2 &= b_{k_2}p_k \\ &\vdots \\ (a_{k_n,1}p_1 + a_{k_n,2}p_2 + \dots + a_{k_n,k}p_k + \dots + a_{k_n,m}p_m)(1 + \pi) + l_{k_n}w + \Lambda_n\rho_n &= b_{k_n}p_k \end{aligned} \tag{2.11}$$

Avec Λ_i la quantité (connue) de terre de qualité i et ρ_i la rente (inconnue) sur la terre de qualité i , sachant que $\prod_{i=1}^n \rho_i = 0$, car la terre la moins productive ne génère pas de rente.

Si les terres sont de même qualité, mais qu'elles sont rares, on retourne à la rente intensive. Le niveau de cette rente peut être défini en posant l'existence de 2 techniques de production différentes. Ces techniques peuvent être représentées de la façon suivante, avec r la rente intensive uniforme (je reprends ici une formulation issue de Kurz [1978], qui me paraît respecter le texte de SRAFFA, ce dernier ne proposant pas de formulation algébrique pour la rente intensive) :

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_1\mathbf{p}(1 + \pi) + l_1w + \Lambda_1r &= \mathbf{b}_1\mathbf{p} \\ \mathbf{a}_2\mathbf{p}(1 + \pi) + l_2w + \Lambda_2r &= \mathbf{b}_2\mathbf{p} \end{aligned} \tag{2.12}$$

On peut alors calculer la rente :

$$r = \frac{\mathbf{b}_1 \mathbf{p}}{\Lambda_1} \left(1 - \frac{k_1}{\mathbf{b}_1 \mathbf{p}}\right) = \frac{\mathbf{b}_2 \mathbf{p}}{\Lambda_2} \left(1 - \frac{k_2}{\mathbf{b}_2 \mathbf{p}}\right) \quad (2.13)$$

Ainsi, en posant $k_i(w) = \mathbf{a}_i \mathbf{p} (1 + \pi) + l_i w$ comme le coût des inputs pour la technique i (dépendant du salaire, variable exogène), la technique produisant plus d'outputs à l'hectare doit alors avoir un coût d'inputs par unité d'outputs plus élevé que l'autre (sinon la rente est négative) : si $\frac{\mathbf{b}_1}{\Lambda_1} > \frac{\mathbf{b}_2}{\Lambda_2}$, alors il faut que $\frac{k_1}{\mathbf{b}_1} > \frac{k_2}{\mathbf{b}_2}$ (Sraffa [1960], § 87, Kurz [1978]).

La deuxième technique étant la plus rentable, s'il n'y avait pas de rente ($r = 0$), elle serait la seule à être utilisée. La demande étant plus élevée que ce que peut produire la technique 2, il y a apparition d'une rente, qui permet à la technique 1, plus productive à l'hectare, donc moins impactée par la ponction sur le surplus représentée par la rente (car cette ponction, allant dans la poche des rentiers, est proportionnelle au nombre d'hectares utilisés), d'être utilisée conjointement.

SRAFFA pense que le système 2.12 permet une production continue d'output en suivant la demande : si la demande continue à augmenter, la rente augmentera et la technique 1 sera de plus en plus utilisée, jusqu'à ce que la technique 2 soit abandonnée. Il y aura alors possibilité qu'une nouvelle technique encore plus productive (mais plus couteuse en input) apparaisse, et ainsi de suite (Sraffa [1960], § 88).

Il existe également des cas où rentes extensive et intensive se retrouvent sur les mêmes produits et/ou les mêmes terres. Un dernier type de rente présenté par SRAFFA concerne celle qui est perçue par les possesseurs de capital fixe obsolète, mais toujours productif. Il s'agit par exemple d'une machine dont la durée de vie prévue est terminée, mais qui n'a pas été mise au rebut : elle n'apparaît plus comme un produit joint à la fin de la période de production, elle apparaît juste en input (il n'y a effectivement pas de prix comptable sur ce type de capital fixe) (Sraffa [1960], § 91).

3 La rente différentielle chez les néo-ricardiens

3.1 L'ordre de fertilité

La question que se posent les néo-ricardiens, à la suite de RICARDO et de SRAFFA, est la suivante : dans quel ordre les différentes qualités de terre, ou les différentes techniques agricoles, vont-elles être mises en production lorsque la demande va augmenter ? C'est une question de choix des techniques : lorsque la demande augmente, quel est le critère qui permet le choix de la technique de production à mettre en oeuvre ? Suivant quelles lois le système de production répond à une augmentation de la demande, lorsque la technique de production du moment est saturée ?

RICARDO pensait que le choix des techniques suivait l'ordre de leur productivité à l'hectare (Bidard [2013]) : le critère du taux de profit maximum menant au même choix que le critère du taux de croissance uniforme maximum (et MARX pensait comme lui, Kurz [1978]). Mais Sraffa montre qu'un changement dans la répartition du revenu entre profit et salaire peut bouleverser cet ordre,

en changeant la rentabilité des différentes techniques (une technique peu intensive en travail peut ainsi se révéler plus profitable si le salaire augmente). C'est donc le critère du taux de profit uniforme maximum qui doit être prédominant : la rentabilité l'emporte sur la productivité.

KURZ montre de plus que le classement des terres suivant leur fertilité ne correspond pas forcément au classement suivant la rente par hectare, et que cette dernière peut évoluer non linéairement en fonction du prix du bien produit sur la terre si ce bien est réutilisé comme input par le processus agricole (Kurz [1978]). Un conflit peut alors naître entre les propriétaires fonciers, qui vont chercher à utiliser les techniques procurant le plus de rente, et les autres classes de la population (travailleurs et capitalistes) : le choix de la technique de production a des implications politiques.

3.2 L'interprétation de LIPIETZ

LIPIETZ (Lipietz [1979]) pose 2 questions : la rente intensive vient-elle de la rareté des ressources naturelles, et les ressources naturelles sont-elles des moyens de production ?

Pour la première question, LIPIETZ pose que la rente intensive peut exister dès lors que la ressource naturelle est utile à la production, et qu'elle est '*totallement appropriée privativement*', par une entreprise ou un état. Dès lors, même une ressource non-rare peut générer une rente, et inversement une ressource rare, mais non appropriée privativement peut être gratuite. La rente intensive n'est donc pas corrélée à une hypothétique rareté de la ressource considérée, comme le laisse entendre SRAFFA (Sraffa [1960]), et comme le reprend VIDONNE (Vidonne [1977]), notamment.

Le niveau de la rente intensive est décidé de manière exogène par rapport au système de production (Lipietz [1979]) :

'Il dépend d'un *rapport de forces*, dans lequel interviennent bien sûr le degré d'organisation du monopole collectif des propriétaires, leur capacité (et celle des locataires) à vivre sans monnayer le droit de propriété, la capacité des différentes classes à nouer des alliances dont la rente est le gage : d'où la lutte des landlords anglais pour maintenir le monopole des blés, d'où les efforts de l'OPEP, etc.'

Pour la deuxième question, LIPIETZ distingue 2 types de rente intensive : la rente à la *Engels* qui est une redistribution du surplus social et qui est payée par les consommateurs (rente immobilière ou pétrolière), et la rente à la *Marx* qui est équivalente à un coût de production, car devant être payée par les producteurs (rente agricole).

Il ne conteste pas la possibilité de l'équation 2.12 dès lors qu'il y a une rente intensive, car on se trouve alors avec 2 degrés de liberté dans le système en introduisant cette variable. On peut alors, soit décider de fixer 2 variables de manière exogène, par exemple en disant que la répartition du surplus se réalise entre le salaire et la rente (w et r sont donnés) ; soit on peut rajouter une équation pour qu'il ne reste qu'un degré de liberté. Cette équation supplémentaire signifie qu'il y a possibilité d'avoir 2 techniques de production, pour un niveau de rente donné.

Mais il conteste la formulation, qui selon lui devrait être :

$$\begin{aligned}(\mathbf{a}_1\mathbf{p} + \Lambda_1 r)(1 + \pi) + l_1 w &= \mathbf{b}_1\mathbf{p} \\(\mathbf{a}_2\mathbf{p} + \Lambda_2 r)(1 + \pi) + l_2 w &= \mathbf{b}_2\mathbf{p}\end{aligned}\tag{3.1}$$

Ainsi les ressources naturelles sont représentées comme des moyens de productions (mais qui sont certes non produits) et leur élimination lors de la construction du système étalon est possible, en reprenant l'équation 2.10, qui écarte par définition les variables de répartition :

$$\begin{aligned}(\mathbf{a}_1\mathbf{q}_1 + \mathbf{a}_2\mathbf{q}_2)(1 + R) &= \mathbf{b}_1\mathbf{q}_1 + \mathbf{b}_2\mathbf{q}_2 \\(\Lambda_1 q_1 + \Lambda_2 q_2)(1 + R) &= 0\end{aligned}\tag{3.2}$$

Les 2 quantités de terre sont donc égales et de signes opposées, elles disparaissent ainsi du système étalon, conformément à la phrase de SRAFFA (Sraffa [1960], § 87) :

'Both equations would enter the Standard system, although with coefficients of opposite signs and of such values as would in the aggregate eliminate the land from the means of production of that system.'

3.3 Les autres rentes

Au moins deux autres types de rente (à ma connaissance), en plus de la rente extensive et intensive, ont été développées dans un contexte Sraffien. Tout d'abord la rente externe, qui a été introduite par la thèse de doctorat de Saucier (Saucier [1981]). Celle-ci existe lorsque la hausse du prix du blé, suite à la hausse de la demande, entraîne l'apparition d'une nouvelle technique dans un autre secteur que celui du blé. En effet la hausse du prix du blé entraîne la hausse du prix des autres biens (de manière plus ou moins importante) : il se peut alors qu'une technique, produisant un autre bien que le blé (par exemple du fer) et employant peu de blé (mais par exemple plus de travail), devienne alors aussi profitable que la technique autrefois optimale (Bidard [2013]).

On aura alors 2 techniques de production du fer fonctionnant en même temps : c'est pourquoi cette rente est parfois appelée *rente externe intensive* (Saucier [1981], Salvadori [1983]). Au fur et à mesure que le prix du blé va augmenter, la nouvelle technique sera de plus en plus utilisée, jusqu'à totalement surclasser l'ancienne (principe de substitution). Les prix du fer et du blé sont déduits via les deux techniques de production du fer, puis la rente est déduite via la technique de production du blé. Selon BIDARD, cela revient à annuler la relation entre prix de production et quantité de travail, et donc la relation entre le taux de profit et le taux de salaire (2.6). Pour éviter cela, une solution serait d'enlever la possibilité de choix des techniques dans l'industrie (Kurz and Salvadori [1995]), mais cela limite grandement l'intérêt de la théorie néo-ricardienne (Bidard [2013]).

Un dernier type de rente est introduit par SALVADORI (Salvadori [1983]) : c'est la rente singulière. Celle-ci naît lorsque la production est trop faible pour satisfaire la demande, et que cette demande n'est pas uniforme selon la classe : les travailleurs, capitalistes et rentiers ne consomment pas les mêmes produits, et donc le salaire, le profit et la rente ne servent pas à acheter les mêmes biens. Alors la rente (sur le blé par exemple), dépendra de la structure de la demande, et des niveaux d'activité des différents processus considérés.

Par exemple, on peut poser, dans un système à 2 processus produisant du blé et du fer, que les rentiers ne consomment que du blé, et que les travailleurs et les capitalistes ne consomment que du fer. Alors, s'il n'y a pas d'investissement, l'intégralité de la rente sert à payer la production de blé, et l'intégralité des salaires et des profits sert à payer la production de fer : la rente qui émerge sur la terre est alors une rente singulière. Cette rente disparaît dès lors que les différentes classes sont supposées avoir le même schéma de consommation.

4 La rente comme management des ressources naturelles

La rareté, qu'elle soit réelle ou imposée institutionnellement, peut être absolue ou relative : la rareté absolue est fixe (elle doit alors être gérée par des institutions, des lois), la rareté relative est potentiellement supprimable grâce au progrès technologique ou aux innovations sociales. Les ressources naturelles sont renouvelables ou non-renouvelables, et dans les deux cas elles peuvent être épuisées si leur consommation est trop importante. Elles sont aujourd'hui rares, dans le sens où la pression humaine devient très importante : en dehors de leur consommation, leur pollution via les processus industriels ou sociaux entraîne leur diminution. Les ressources naturelles peuvent par ailleurs être divisées en deux catégories, selon quelles sont appropriables (en tant que ressources pour la production) ou non (mais fournissant quand même des services, non marchands, à la production).

Réagissant aux contraintes de rareté, le progrès technologique se développe selon 3 directions : la découverte de nouveaux gisements, la substitution et/ou l'amélioration de la productivité de la ressource rare. L'histoire économique montre qu'en général, si le progrès technologique permet de s'affranchir des anciennes contraintes, il en crée en permanence des nouvelles. De ce point de vue, on peut analyser l'histoire des innovations comme une réponse perpétuellement renouvelée aux différentes contraintes de l'environnement (Quadrio Curzio [2011]). Mais le problème qui se pose est de savoir si les innovations arriveront toujours à temps, et même si elles existent, si elles sont désirables socialement et économiquement.

4.1 Les ressources naturelles en économie

4.1.1 Chez les marginalistes

Dans le schéma marginaliste, le concept de ressource naturelle n'existe pas, où plutôt toutes les ressources sont traitées comme si elles étaient des ressources naturelles rares, mais substituables : il n'y a pas de spécificité de l'environnement. Les ressources naturelles ont cependant été considérées comme un sujet de recherche valable par les marginalistes suite aux travaux de HOTELLING (Hotelling [1931]). Avant lui JEVONS (Jevons [1865]) s'était penché sur le lien entre usage de la ressource charbon, une ressource naturelle épuisable, et richesse économique du Royaume Unis : ce faisant il a sous-estimé l'importance du progrès technologique et du processus de substitution (Quadrio Curzio and Pellizzari [1999]), aboutissant à des conclusions trop pessimistes.

HOTELLING cherche à calculer le taux d'exploitation d'une ressource donnée optimisant le bien-être social. Selon lui, la compétition parfaite peut permettre, via le marché, de garantir ce taux d'exploitation optimal (mais il était conscient de l'impossibilité de se trouver en compétition parfaite concernant la gestion des ressources naturelles). De nombreux travaux ont suivis concernant les différences de gestion entre ressources renouvelables et non-renouvelable, en utilisant le plus souvent des techniques de programmation dynamique et de contrôle dynamique. Des débats ont eu lieu concernant la notion de bien-être social : certains ont préféré chercher à optimiser le bien-être privé, donc à optimiser les profits, ou la rente, tirés de la gestion de la ressource par son propriétaire. Des débats ont eu lieu également sur les droits et régimes de propriétés concernant les ressources naturelles (Clark [1979], Dasgupta and Heal [1981], Fisher [1981], Pearce and Turner [1990]).

La règle générale, concernant les travaux suivant les recherches d'Hotelling, c'est qu'en situation de compétition libre, le prix des ressources non renouvelables augmentera, car la vente de la ressource doit générer le même taux de profit que de la conservation de la même quantité de ressource. Une rente doit donc être fournie aux propriétaires de la ressource s'ils veulent la conserver, sous la forme d'une augmentation du prix de la ressource. Cette augmentation est égale au taux de profit uniforme en vigueur au temps t , r_t (Kurz [2006]) :

$$p_{t+1} = p_t (1 + r_t) \quad (4.1)$$

A contrario, si pour chaque gisement épuisé un autre similaire est découvert, avec un coût de recherche constant, la ressource devient renouvelable, les différents gisements pouvant être considérés comme des machines d'une durée de vie donnée (comme évoquée à la fin de la sous-section 2.3).

4.1.2 Chez les néo-ricardiens

SRAFFA est un le seul post-keynésien à aborder simultanément la question de la production, de la distribution et de la rareté de certaines ressources. Cependant son modèle reste statique : les quantités sont fixées et il passe ainsi à côté des relations entre demande et distribution (rente singulière notamment, cf. section 3.3).

QUADRIO CURZIO (Quadrio Curzio and Pellizzari [1999], Quadrio Curzio [2011]) est l'auteur néo-ricardien qui a le plus écrit sur le traitement de la rente : il va développer, en approfondissant le modèle Sraffien, et en s'inspirant de LÉONTIEF et de VON NEUMANN, un modèle multi-secteur qui place la rente et les ressources rares au centre de l'analyse.

QUADRIO CURZIO s'intéresse d'abord à un modèle statique et regarde l'ordre d'efficience et de rentabilité des processus. Puis il étudie l'effet des variations de la distribution et des niveaux d'activité : il met ainsi en évidence le rôle important de la rente dans la distribution, en changeant la relation entre salaire et profit. Il compare ensuite des technologies, c'est-à-dire des ensembles de techniques (produisant un ou plusieurs biens) suivant différents critères : efficacité, structure, taille, selon la diminution des ressources et l'augmentation de la production. Il définit ainsi la *rente technologique*, c'est-à-dire la rente associée à une technologie particulière, et non plus à une technique particulière, et la *rareté technologique*, qui existe dès que des contraintes posées par les ressources rares

apparaissent sur l'échelle et la structure de la production. Il définit enfin le *progrès technologique* comme la capacité d'un système économique à diminuer les contraintes pesant sur sa croissance.

Il étudie enfin l'ordre d'efficacité des différents processus, selon une approche statique et dynamique, et comment les contraintes amènent l'activation ou non de certains processus, et le ralentissement ou non de la croissance de la production. L'évolution des rentes peut par ailleurs amener à des conflits entre les intérêts des différents opérateurs choisissant les processus à activer (accaparement de la rente maximale ou du profit maximal), ce qui peut influencer la promotion de certaines innovations au détriment d'autres.

Une controverse a éclaté au début des années 2000 au sein du courant néo-ricardien concernant la validité ou non d'un traitement "à la Hotelling" dans un système de production néo-ricardien (Bidard and Erreygers [2001a,b], Parrinello [2001], Schefold [2001], Kurz and Salvadori [2001]), marquant ainsi un regain d'intérêt, au moins passager, sur la question des ressources environnementales non-renouvelables dans ce courant (Steedman [2001]). Je vais détailler dans la sous-section suivante deux modèles issus de ce courant, l'un, statique, traitant des ressources naturelles non appropriables et de leur protection et dépollution, l'autre, dynamique, traitant des ressources naturelles appropriables non-renouvelables, et de leur remplacement via des technologies non-dépendantes d'elles.

4.2 Deux modèles néo-ricardiens

4.2.1 Rareté et environnement

QUADRIO CURZIO et PELLIZZARRI (Quadrio Curzio and Pellizzari [2003]) explorent la rente liée aux ressources naturelles non appropriables, c'est-à-dire les ressources environnementales sans prix sur le marché. Ils définissent ainsi le vecteur ligne \mathbf{r} contenant les coefficients r_i d'utilisation de la ressource environnementale dans chaque processus économique i pour la production d'une unité du bien i (système de production simple). L'utilisation totale de la ressource environnementale ne peut pas être supérieure à la quantité totale disponible dans l'environnement R :

$$m_R = \mathbf{r}\mathbf{y} \leq R \quad (4.2)$$

Avec \mathbf{y} le vecteur colonne des niveaux d'activités de chaque processus (ce vecteur est ici égal au vecteur des quantités produites \mathbf{q} car on est en production simple et car la matrice de technologie \mathbf{A} contient les coefficients concernant la production d'une unité de chacun des m biens).

Ils posent maintenant la possibilité d'un recyclage de la ressource, ou de sa dépollution, afin de partiellement reconstituer le stock environnemental. Cette reconstitution est supposée non complète, et le coût de la reconstitution est attribuée de manière proportionnelle à l'usage de la ressource au sein des différents processus, selon le principe du pollueur-payeur (OECD [1972]). Ils définissent ainsi un vecteur \mathbf{a}_R contenant les coefficients de reconstitution de la ressource environnementale a_{iR} , c'est-à-dire la quantité du bien i nécessaire pour reconstituer le maximum possible d'une unité de ressource environnementale. Chaque processus \mathbf{a}_i doit ainsi produire le bien i et une quantité de ressource environ-

nementale proportionnelle à la consommation de ressource utilisée par le processus (le signe ' indique un vecteur transposé) :

$$\mathbf{a}'_i = [a_{1i} + a_{1R}r_i \quad a_{2i} + a_{2R}r_i \quad \dots \quad a_{mi} + a_{mR}r_i] \quad (4.3)$$

On peut alors construire une matrice \mathbf{R} contenant la technologie de reconstitution de la ressource environnementale :

$$\mathbf{R} = \mathbf{a}_R \mathbf{r} = \begin{bmatrix} a_{1R}r_1 & a_{1R}r_2 & \dots & a_{1R}r_m \\ a_{2R}r_1 & a_{2R}r_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ a_{mR}r_1 & \dots & & a_{mR}r_m \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

En post-multipliant la matrice \mathbf{R} par le vecteur des niveaux d'activité \mathbf{y} , on obtient le vecteur \mathbf{q}_R des quantités produites destinées à la reconstitution de la ressource environnementale :

$$\mathbf{R}\mathbf{y} = \mathbf{q}_R \leq \mathbf{q} \quad (4.5)$$

Concernant le choix des techniques de production, deux critères de choix peuvent être proposés : le critère de productivité maximale (taux uniforme de surplus s maximal si tout le surplus est réinvesti, il est équivalent au taux de croissance g maximal), et le critère de rentabilité maximale (taux uniforme de profit π maximal).

Concernant le premier critère, en intégrant la matrice \mathbf{R} , le système physique devient :

$$[1 + s] [\mathbf{A} + \mathbf{R} - \mathbf{I}] \mathbf{y} = \mathbf{0} \quad (4.6)$$

On peut alors regarder, pour différentes technologies $\mathbf{A} + \mathbf{R}$ lesquelles fournissent le plus grand taux de uniforme de surplus s . Mais ce critère n'est efficace que si la ressource environnementale est entièrement reconstituée : dans le cas contraire un choix doit être fait entre la reconstitution maximale de la ressource environnementale et la production maximale de surplus. Ce choix est influencé par des considérations subjectives concernant le présent et le futur : par exemple l'usage de la ressource dans l'immédiat peut être requis pour le développement des pays pauvres, mais cela réduirait les possibilités pour les générations futures, sans compter que les effets d'une diminution de la ressource sur l'environnement et les écosystèmes sont en général incertains.

Concernant le second critère, on peut envisager de mettre un prix sur la ressource environnementale, afin d'avoir un critère de choix qui se base sur la réduction des coûts économiques comme des coûts environnementaux. Ce prix p_R est alors divisé en 2 parties : une partie qui couvre les coûts économiques de reconstitution et une partie qui est une estimation du coût environnemental concernant la non-reconstitution totale, assimilable à une rente, ρ :

$$p_R = [1 + \pi] \mathbf{p} \mathbf{a}_R + w \mathbf{l} \mathbf{a}_R + \rho \quad (4.7)$$

Avec \mathbf{p} et \mathbf{l} les vecteurs lignes des prix et des quantités de travail. Le système des prix est alors :

$$[1 + \pi] \mathbf{p} [\mathbf{A} + \mathbf{R}] + w [\mathbf{l} + \mathbf{l} \mathbf{R}] + \rho \mathbf{r} = \mathbf{p} \quad (4.8)$$

Le système est sous-déterminé, car il y a $m + 3$ inconnues, pour m équations. Même en prenant un bien comme numéraire et en posant une variable de distribution comme donnée exogène (le taux de salaire ou de profit), il reste un degré de liberté. Ce critère de choix dépend donc de la valeur attribuée à la rente environnementale.

L'économie environnementale a tenté de développer des méthodes permettant de mettre une valeur sur les ressources environnementales, et donc sur cette rente (Pearce and Turner [1990], Barde and Pearce [1991], Faucheux and Nol [1995]) :

1. L'approche des marchés traditionnels analyse les transactions sur le marché et cherche à trouver des liens entre les prix et les particularités environnementales. La méthode fonction de production considère l'environnement comme un facteur de production et regarde l'influence des changements de qualité de la ressource environnementale sur les prix ; la méthode dose-réponse établit une relation entre la pollution et le taux de maladie, et établit ainsi les coûts liés à une hausse de la pollution ; l'évaluation via les dépenses préventives regarde les coûts générés par la prévention ou l'adaptation à un changement environnemental.
2. L'approche des marchés implicites cherche à évaluer les préférences et les dépenses liées à ses préférences en regardant les comportements liés à la ressource environnementale. La méthode des prix hédoniques regarde l'influence de l'environnement sur les transactions qui s'appuient plus ou moins sur des critères environnementaux, par exemple le loyer des maisons, ou les salaires des personnes acceptant de travailler dans la région. La méthode des coûts de déplacement déduit la valeur d'un site environnemental via la valeur des trajets réalisés par les personnes le visitant.
3. L'approche des marchés construits passe par un questionnaire direct des personnes, leur demandant ce qu'ils sont prêts à payer pour éviter la destruction de la ressource, ou à recevoir pour accepter la destruction de la ressource.

Toutes ces méthodes sont extrêmement critiquées par les chercheurs appartenant au courant de l'économie écologique (van den Bergh [2001], Venkatchalam [2007]). Cela amène ainsi QUADRIO CURZIO et PELLIZZARI (Quadrio Curzio and Pellizzari [2003]) à conclure sur l'impossibilité de trouver un unique critère de choix des techniques lorsqu'une ressource environnementale non appropriable est prise en considération dans le modèle : un choix politique est à faire.

4.2.2 Kurz et Salvadori : dynamique

Kurz et Salvadori construisent un modèle dynamique input-output avec des ressources environnementales non-renouvelables, toutes soumises à la propriété privée, et donc pouvant générer une rente. Ils écartent la possibilité de progrès technique et de nouvelles découvertes : les stocks sont connus parfaitement et seule la substitution est donc possible pour échapper aux contraintes. Ils assument pour cela qu'une technologie solaire peut fournir la substitution voulue et remplacer à terme les besoins en ressources non-renouvelables. Ils prennent le salaire réel comme une quantité physique fixée de manière exogène. Les profits et les rentes sont par contre des inconnues déterminées par le système.

Il y a n biens et $m > n$ processus pour les produire, avec des rendements d'échelle constants. Le vecteur colonne des prix de la période de production uniforme au temps t est noté \mathbf{p}_t , le vecteur ligne d'activité (ou intensité des processus), \mathbf{x}_t . La période de production est uniforme, c'est-à-dire que les processus de production se déroulent tous en même temps. Le processus j est défini par le quadruplet $(\mathbf{a}_j, \mathbf{b}_j, \mathbf{c}_j, l_j)$, avec \mathbf{a}_j le vecteur ligne des inputs, \mathbf{b}_j le vecteur ligne des outputs, \mathbf{c}_j le vecteur ligne des inputs en ressources environnementales non-renouvelables (donc non-produites) et l_j le coefficient de travail. L'ensemble des processus en colonne définissent ainsi les matrices \mathbf{A} , \mathbf{B} et \mathbf{C} et le vecteur colonne \mathbf{l} .

Tous les profits et les rentes servent à la consommation, proportionnelle à un vecteur \mathbf{d} constant d'une quantité donnée de biens. La consommation des capitalistes et des rentiers est supposée constante en composition, égale à un vecteur ligne de bien de consommation \mathbf{d} , mais aussi en quantité, égale à $\gamma\mathbf{d}$. Le taux de salaire réel est lui aussi supposé constant et est donné par le vecteur ligne de biens de consommation \mathbf{w} . La condition de compétition parfaite est supposée, le taux de profit r_t est donc posé uniforme. Le système est le suivant :

$$\mathbf{B}\mathbf{p}_{t+1} \leq (1 + r_t)(\mathbf{A}\mathbf{p}_t + \mathbf{C}\mathbf{y}_t) + \mathbf{l}\mathbf{w}'\mathbf{p}_{t+1} \quad (4.9)$$

Ce qui signifie que personne ne peut obtenir de profit supérieur au taux uniforme, avec \mathbf{y}_t le vecteur colonne des prix (ou redevances, traduction du terme '*royalties*') des ressources environnementales ;

$$\mathbf{x}_{t+1}\mathbf{B}\mathbf{p}_{t+1} = \mathbf{x}_{t+1}[(1 + r_t)(\mathbf{A}\mathbf{p}_t + \mathbf{C}\mathbf{y}_t) + \mathbf{l}\mathbf{w}\mathbf{p}_{t+1}] \quad (4.10)$$

Ce qui signifie qu'il n'y a production permettant d'avoir des biens en $t + 1$ que si un taux de profit uniforme est obtenu ;

$$\mathbf{y}_{t+1} \leq (1 + r_t)\mathbf{y}_t \quad (4.11)$$

Ce qui signifie que l'on ne peut avoir de profit supérieur au taux de profit uniforme en stockant les ressources environnementales ;

$$\mathbf{z}_{t+1}\mathbf{y}_{t+1} = (1 + r_t)\mathbf{z}_{t+1}\mathbf{y}_t \quad (4.12)$$

Ce qui signifie que les ressources environnementales seront stockés à la période de production seulement si cela permet d'obtenir le taux de profit uniforme, avec \mathbf{z}_t le vecteur ligne des quantités de ressources environnementales disponibles ;

$$\mathbf{x}_{t+1}(\mathbf{B} - \mathbf{l}\mathbf{w}) \geq \mathbf{x}_{t+2}\mathbf{A} + \gamma\mathbf{d} \quad (4.13)$$

Ce qui signifie que la quantité de bien produite en $t + 1$ ne peut être inférieure à ce qui est requis en $t + 2$ en termes d'inputs et de consommation ;

$$\mathbf{x}_{t+1}(\mathbf{B} - \mathbf{l}\mathbf{w})\mathbf{p}_{t+1} = (\mathbf{x}_{t+2}\mathbf{A} + \gamma\mathbf{d})\mathbf{p}_{t+1} \quad (4.14)$$

Ce qui signifie que la valeur en $t + 1$ des produits en excès par rapport à ce qui est requis en $t + 2$ est posée à zéro ;

$$\mathbf{z}_t \geq \mathbf{x}_{t+1}\mathbf{C} + \mathbf{z}_{t+1} \quad (4.15)$$

Ce qui signifie que les quantités de ressources environnementales disponibles au temps t ne peuvent être inférieures à ce qui est requis au temps $t + 1$;

$$\mathbf{z}_t \mathbf{y}_t = (\mathbf{x}_{t+1} \mathbf{C} + \mathbf{z}_{t+1}) \mathbf{y}_t \quad (4.16)$$

Ce qui signifie enfin que la valeur des ressources environnementales en surplus par rapport à ce qui est requis au temps $t+1$ est posée à zéro. Toutes les variables sont supposées positives. La quantité de ressources environnementales initiale est une donnée exogène : $\mathbf{z}_0 = \bar{\mathbf{z}}$. De même les quantités initiales de biens sont données de manière exogène par le vecteur ligne v , avec :

$$v \geq \mathbf{x}_1 \mathbf{A} + \gamma \mathbf{d} \quad (4.17)$$

$$v \mathbf{p}_0 = (\mathbf{x}_1 \mathbf{A} + \gamma \mathbf{d}) \mathbf{p}_0 \quad (4.18)$$

Toutes les variables sont supposées positives.

Le taux de profit r_t est un taux de profit nominal, aussi un changement de ce taux change uniquement le taux d'inflation, mais ne change pas le taux réel de profit, ni les prix relatifs actualisés (c'est-à-dire corrigés de l'inflation). Pour qu'un changement du taux de profit nominal n'affecte pas les prix relatifs non actualisés, on pose de plus le numéraire comme fonction des prix relatifs actualisés :

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{\mathbf{u}_t \mathbf{p}_t}{\prod_{\tau=0}^{t-1} (1 + r_\tau)} = 1 \quad (4.19)$$

Avec \mathbf{u}_t un vecteur ligne donné positif.

Dans un premier temps, le taux de profit nominal est posé à zéro. De plus, on pose $\mathbf{u}_t = \mathbf{d}$. Donc la valeur de la consommation durant l'ensemble de la période considéré est posée égale à 1. La solution technologique solaire $(\bar{\mathbf{A}}, \bar{\mathbf{B}}, 0, \bar{\mathbf{I}})$ est définie comme l'ensemble des processus n'utilisant pas de ressources environnementales. Il est supposée (hypothèse 1) qu'il est possible de résoudre le système en utilisant uniquement cette technologie, c'est-à-dire qu'il existe un scalaire r^* et des vecteurs \mathbf{x}^* et \mathbf{p}^* solutions du système suivant :

$$\mathbf{x} (\bar{\mathbf{B}} - \bar{\mathbf{A}} - \bar{\mathbf{I}} \mathbf{w}) \geq \mathbf{d} \quad (4.20)$$

$$\mathbf{x} (\bar{\mathbf{B}} - \bar{\mathbf{A}} - \bar{\mathbf{I}} \mathbf{w}) \mathbf{p} = \mathbf{d} \mathbf{p} = 1 \quad (4.21)$$

$$\bar{\mathbf{B}} \mathbf{p} \leq [(1 + r) \bar{\mathbf{A}} + \bar{\mathbf{I}} \mathbf{w}] \mathbf{p} \quad (4.22)$$

$$\mathbf{x} \bar{\mathbf{B}} \mathbf{p} = \mathbf{x} [(1 + r) \bar{\mathbf{A}} + \bar{\mathbf{I}} \mathbf{w}] \mathbf{p} \quad (4.23)$$

Les processus opérant aux niveaux d'activité du vecteur $\bar{\mathbf{x}}$ (obtenu en rajoutant des zéros au vecteur \mathbf{x}^*) sont appelés la solution solaire optimale et sont notés $(\hat{\mathbf{A}}, \hat{\mathbf{B}}, 0, \hat{\mathbf{I}})$. On fait de plus l'hypothèse (2) que la technologie solaire $(\bar{\mathbf{A}}, \bar{\mathbf{B}}, 0, \bar{\mathbf{I}})$ converge naturellement vers la solution optimale $(\hat{\mathbf{A}}, \hat{\mathbf{B}}, 0, \hat{\mathbf{I}})$, et l'hypothèse (3) que le nombre de processus dans la solution solaire optimale est

égale à n , qu'il n'y a pas de production jointe et que chaque bien est produit par un unique processus. Cela implique notamment que le taux de profit optimal r^* soit positif.

Leur modèle permet ainsi d'investiguer les dynamiques possibles. Les processus utilisés au temps t sont appelés la position du système au temps t : pour qu'une position perdure indéfiniment, il faut soit que les processus utilisés initialement n'aient pas besoin des ressources épuisables, soit que l'on assiste à un remplacement progressif des technologies utilisant les ressources épuisables par les technologies solaires. Ainsi on peut diviser l'évolution du système en trois phases : une première, de t à τ' , où les processus utilisant des ressources épuisables sont peu à peu écartés, une deuxième, de τ' à τ'' , où le système, utilisant uniquement la technologie solaire, converge vers la solution optimale, et la dernière, de τ'' à l'infini, où la solution solaire optimale est utilisée de manière stable. En faisant l'hypothèse (4) qu'il n'existe pas de technologie utilisant les ressources épuisables pour produire un bien qui peut être produit en utilisant les mêmes inputs sauf ceux épuisables, on s'assure par ailleurs que la solution solaire optimale est l'unique position susceptible d'être répliquée à l'infini.

On peut alors construire un programme linéaire cherchant à minimiser les prix en fonction de la quantité initiale des biens et des ressources environnementales et observer au bout de combien de temps on arrive à $\theta = \tau''$: on étudie alors le système des prix. Ou on peut étudier le programme dual visant à maximiser la consommation, en fonction des mêmes données de départ : on étudie alors le système physique, les deux systèmes arrivant à la même solution, si l'on fait l'hypothèse (5) qu'il existe une solution. Par ailleurs, s'il existe une solution pour θ , il existe une solution pour tous $\theta' \geq \theta$. En faisant tendre θ vers l'infini, on est sûr que la solution du programme linéaire est aussi une solution du système initial.

Rappelons les hypothèses de départ : stocks de ressources et de biens parfaitement connus au départ (pas de découverte de nouveaux gisements ou d'amélioration des procédés), technologie de secours assurant le remplacement des ressources épuisables au besoin, taux de salaire réel constant et donné, consommation totale du profit et de la rente proportionnellement à un vecteur constant et donné de biens de consommation. Alors, si l'on fixe la suite des différents taux de profits, les quantités, les prix et les rentes sont tous fixés. Un changement dans cette suite n'affecte ni les quantités produites, ni les rentes relatives, ni les prix actualisés. L'intérêt est alors d'étudier les changements dans la structure de production nécessaires pour satisfaire la demande effective.

5 La rente en économie écologique

PERRINGS (Perrings [1987]) et O'CONNOR (O'Connor [1993]) ont proposé un lien entre économie écologique et théorie néo-ricardienne, en modélisant un système de production jointe alliant processus environnementaux et processus économiques, chacun de ces processus générant des rentes pour leur possesseurs.

5.1 PERRINGS : rentes et externalités environnementales

5.1.1 Système de valeur et système de production

PERRINGS pose tout d'abord la définition de la valeur d'échange (il ne s'intéresse pas à la valeur d'usage) : *'the value of a resource is defined to be a corresponding transaction weight fixed by the conditions of production, distribution, and exchange'* (Perrings [1987], p. 65). Il pose ensuite la définition d'un système de valeur d'échange au sein de l'économie : *'The value system is defined to be the set of transaction weights governing the exchange of resources between the agents controlling the mutually dependent processes of a human economy. The value system is thus coextensive with the market'* (Perrings [1987], p. 65). La dépendance mutuelle des processus économique assure par ailleurs que la matrice des inputs est indécomposable et donc que le système de prix soit unique.

Il indique plus loin : *'The value system is any system of weights establishing the ratio in which resources, defined in terms of property rights, are exchanged one for another'* (Perrings [1987], p. 66). Ce sont donc les droits de propriété sur les ressources qui définissent les existences ou non des prix. Ces ressources comprennent non seulement les biens produits par l'économie (*'commodities'*) mais aussi le travail et les ressources naturelles : *'what is unusual is the inclusion in the model of environmental resources: those that do not have the status of commodities. Such resources are not valorized they lie outside the the price system of the economy'* (Perrings [1987], p. 11).

Il pose de plus que les ressources sont en quantités limitées par rapport aux besoins de la production et de la consommation, et qu'il existe une compétition entre les propriétaires des différents moyens de production concernant le partage du surplus. Les prix sont alors dépendants des conditions de production et de distribution. Les premières sont définies par la matrice des technologies disponibles, les secondes sont définies comme : *'the extra-economic - cultural, legal, ideological, and political - conditions affecting the distribution of income between the proprietors of distinct factors of production'* (Perrings [1987], p. 67).

Il ne définit pas clairement le capital, mais indique que le capital avancé par les capitalistes doit générer un taux de profit uniforme au sein de l'économie (grâce à la compétition). Les autres facteurs de production sont aussi soumis à la compétition, et il y aura un taux de profit uniforme pour chaque facteur de production, mais ces taux de profit pourront être différents de celui sur le capital (Perrings [1987], p. 67-68). Il semble ainsi faire la proposition que le capital regroupe tous les moyens de production qui peuvent être fabriqués par la technologie existante, quand les autres facteurs de production regroupent le travail et les différentes ressources naturelles.

En posant qu'une compétition existe entre les différents propriétaires des moyens de production, PERRINGS rejoint MARX : il pose que les propriétaires d'un même moyen de production ne peuvent espérer augmenter leur part du surplus total qu'en s'unissant contre les propriétaires des autres moyens de production (car la compétition leur assure un taux de profit uniforme sur leur ressource en commun). Ils agissent alors comme une *classe*, dans le sens marxiste du terme : *'the economic actors of interest are not individuals per se, but the group of proprietors of each set of perfectly substitutable resources advanced in production'* (Perrings [1987], p. 68).

PERRINGS propose ensuite de relier le taux de rente à la demande en excès sur la ressource considérée : si la quantité produite est inférieure à la demande, la demande en excès est positive, et inversement. Le taux de rente augmente si la demande en excès est positive, et inversement (Perrings [1987], p. 75).

PERRINGS rejoint presque LIPIETZ (Lipietz [1979]) dans la définition du lien entre rareté et rente. Pour lui il n'y a rente que si une ressource est appropriée, mais aussi valorisée via la consommation d'une autre ressource valorisée : *'resources are economically scarce when their utilization in the process of a human economy implies the commitment of positively valued resources to secure their possession. The term possession has a very precise meaning here. The commitment of positively valued resources to the exaction of environmental resources implies that the latter are possessed and so endowed with value'* (Perrings [1987], p. 80).

La notion de production et de processus de production prend ainsi un sens différent avec PERRINGS : la force de travail est *'produite'* via la consommation des travailleurs et le salaire dépend de la consommation et de la revendication des travailleurs concernant le partage du surplus. Une ressource naturelle est produite par les dépenses nécessaires à sa protection et le niveau de la rente dépend du niveau de protection et de la revendication des protecteurs dans le partage du surplus. Cela signifie donc qu'il considère qu'une ressource n'a de valeur que lorsque elle est appropriée ET produite : il représente donc dans son système les ressources naturelles et le travail comme des ressources produites via la consommation des biens nécessaires à leur protection (à l'inverse de LIPIETZ qui considère que la rente survient dès qu'il y a appropriation, mais pas forcément dépenses liées à cette appropriation).

5.1.4 Rente environnementale et externalités

PERRINGS pose que les marchés sont incomplets s'ils ne prennent pas en considération les coûts de protection des ressources environnementales : cette absence de prise en considération est la source des externalités négatives concernant l'environnement (Perrings [1987], p. 84). Les ressources environnementales utilisées par l'économie, mais avec un prix p_r nul, sont soumises à *exaction* ; inversement les déchets rejetés gratuitement (c'est-à-dire avec un prix nul, alors qu'il devrait être négatif) dans l'environnement sont *insérés* dans les processus environnementaux. Exaction et insertion sont les deux phénomènes d'atteintes à l'environnement par l'économie humaine, et se révèlent à chaque fois que le prix de la ressource concernée est nul :

'an exaction implies the forcible uncompensated acquisition of the outputs of one process by the agent(s) operating another process. An insertion implies the forcible uncompensated imposition of the output of one process, by the agent(s) operating that process, on another process' (Perrings [1987], p. 35).

5.2 O'CONNOR : rente et environnement comme source de biens basiques

O'CONNOR (O'Connor [1993]) continue dans la lignée de PERRINGS (Perrings [1987]) : il présente un système de production où processus environnementaux et économiques sont interdépendants. Le système est en croissance au taux

uniforme g et le système de valeur garantit un taux de rente uniforme (ou de profit) de π :

$$\mathbf{y}(T) \mathbf{B} = (1 + g) \mathbf{y}(T) \mathbf{A} \quad (5.3)$$

$$\mathbf{Bp} = (1 + \pi) \mathbf{Ap} \quad (5.4)$$

En considérant un système mondial où les ressources naturelles sont limitées, les quantités disponibles au début de la période de production T sont uniquement celles produites à la période $T - 1$. Alors la croissance de l'activité du sous-ensemble des processus économiques ne peut se réaliser qu'en diminuant l'activité des autres sous-ensembles.

Concernant le système de prix, il montre qu'en fonction du taux de rente uniforme choisi, certains prix sont nuls ou négatifs. Cela traduit selon lui un choix économique ou politique de ne pas valoriser telle ressource ou tel processus. Il s'interroge alors sur la capacité du système de prix à pouvoir être un indicateur de la rareté d'une ressource : si le prix de la ressource est imposé, par exemple à 0, cela ne sera pas le cas.

Puis il envisage le cas général où les taux de rente sont différents selon les processus. Le système de valeur devient :

$$\mathbf{Bp} = (\mathbf{I} + \mathbf{\Pi}) \mathbf{Ap} \quad (5.5)$$

Avec $\mathbf{\Pi}$ la matrice diagonale possédant sur sa diagonale principale les taux de rentes des différents processus ; en effet contrairement à PERRINGS (Perrings [1987]), il pose que les propriétaires susceptibles de s'unir en classes sont les propriétaires de processus substituables, plutôt que les propriétaires de ressources substituables.

Il est à noter que dans un exemple très simple à deux processus, O'CONNOR pose l'économie comme étant un processus créant des biens non-basiques, par opposition à l'environnement créant des biens basiques. Cette opposition est à rapprocher de celle de SRAFFA (Sraffa [1960], cf. section 2.2), qui prenait au contraire les ressources naturelles comme l'équivalent de biens non-basiques, car non-produit par le système. Ici non seulement l'environnement est produit, mais il est de plus le support des activités humaines.

6 Résumé des propositions

6.1 Hypothèses sous-tendant les différentes rentes

Nous avons résumé dans cet article ce que le terme rente recouvre dans la théorie néo-ricardienne.

1. La rente est soit différentielle, c'est-à-dire rémunérant une différence entre la rentabilité de deux processus produisant le même bien. Cette différence existe (alors qu'en compétitivité parfaite elle aurait été supprimée) parce que la demande pour le bien considéré est supérieure à l'offre. On peut distinguer au moins quatre formes de rente différentielle :

- Rente extensive : on échappe à la pression de la demande en produisant via des ressources de qualité différentes ;
 - Rente intensive : on échappe à la pression de la demande en changeant la méthode de production ;
 - Rente singulière : la demande est trop forte seulement chez certaines classes de la population, on échappe à sa pression via une des 2 premières méthodes
 - Rente externe : on échappe à la pression de la demande en diminuant cette dernière, via l'introduction de processus différents qui se servent *indirectement* du bien sous-produit.
2. Soit la rente est l'équivalent des royalties : elle s'applique dans le cas d'une ressource non-renouvelable appropriable, donc lorsqu'il y a rareté absolue. Les royalties équivalent au prix de la ressource si le stockage de cette ressource génère le même taux de profit que son utilisation. Cette règle, la règle d'HOTELLING, est applicable uniquement si (Kurz and Salvadori [2001]) :
- H1 la ressource est de qualité homogène et de quantité certaine ;
- H2 la seule contrainte pesant sur la quantité à extraire durant une période de production réside dans la quantité totale stockée restant de la période précédente.
3. Soit la rente est, comme développé chez QUADRIO-CURZIO et PELLIZZARI, l'équivalent d'un coût de reconstitution (protection ou dépollution) d'une ressource environnementale non appropriable. Ce coût comprend les coûts directs de reconstitution, distribués via le principe de pollueur-payeur (le taux de profit global est diminué) et une partie subjective correspondant à la perte environnementale dû au fait que la reconstitution ne peut être que partielle.

Ceci sont les trois visions de la rente développées dans la théorie néo-ricardienne. PERRINGS et O'CONNOR, bien que se rattachant à cette théorie, ont développé une autre vision de la rente : la rente comme expression du conflit sur la répartition du surplus. Cette rente est en fait équivalente à la rente de QUADRIO-CURZIO, à ceci près que la distribution du coût de reconstitution ne se fait pas selon le principe du pollueur-payeur, mais plutôt via la prise en charge du processus de reconstitution par quelqu'un (disons une institution), rémunéré par le versement d'une rente.

En fait PERRINGS dit que le versement de la rente fait l'objet d'un conflit : le conflit se situe dans la distribution du surplus entre le taux de salaire, le taux de profit et le taux de rente. La gestion des coûts engendrés par la protection de l'environnement n'est pas soumise à la compétition libre : si c'était le cas, le taux de rente serait remplacé par le taux de profit uniforme appliqué dans l'économie (et il serait possible que l'activité de protection ne soit pas assez rentable, et donc abandonnée). Sans compétition libre, elle obtient une part du surplus, au détriment du taux de profit et du taux de salaire : il s'agit bien d'une rente, destinée à protéger l'environnement.

6.2 Illustration via un modèle simple

Un modèle avec 3 processus peut permettre de mieux comprendre la différence entre la vision de la rente de PERRINGS et celle des néo-ricardiens. Soit un système de production simple avec un processus et 3 moyens de production : capital, travail et une ressource naturelle. Par exemple on peut prendre l'exemple de la production de blé à partir de blé, de travail et de terre. Un système Sraffien représente le système ainsi :

$$a_1 p_a (1 + \pi) + l_1 w + \Lambda_1 r = p_a \quad (6.1)$$

Avec la solution pour la rente :

$$r = \frac{p_a [1 - a_1 (1 + \pi)] - l_1 w}{\Lambda_1} \quad (6.2)$$

Alternativement on peut adopter le traitement de LIPJETZ (Lipietz [1979]) concernant la rente absolue en réécrivant l'équation 6.1 de la manière suivante :

$$(a_1 p_a + \Lambda_1 r) (1 + \pi) + l_1 w = p_a \quad (6.3)$$

La solution 6.2 devient alors :

$$r = \frac{p_a [1 - a_1 (1 + \pi)] - l_1 w}{\Lambda_1 (1 + \pi)} \quad (6.4)$$

La différence entre les deux versions n'est pas fondamentale : dans le premier cas la rente est une variable de répartition du surplus (paiement de la rente après le procès de production), dans le second cas un coût de production (paiement de la rente avant le procès de production).

Par contre PERRINGS introduit une différence fondamentale en posant que l'entretien de la terre engendre des coûts (en termes de capital, de travail et de terre) et que de même le renouvellement de la force de travail engendre des coûts (en termes de capital, de travail et de terre). Il n'y a alors pas un processus de production, mais trois :

$$\begin{aligned} a_1 p_a (T) (1 + \pi) + l_1 p_l (T) (1 + w) + \Lambda_1 p_r (T) (1 + r) &= p_a (T + 1) \\ a_2 p_a (T) (1 + \pi) + l_2 p_l (T) (1 + w) + \Lambda_2 p_r (T) (1 + r) &= p_l (T + 1) \\ a_3 p_a (T) (1 + \pi) + l_3 p_l (T) (1 + w) + \Lambda_3 p_r (T) (1 + r) &= p_r (T + 1) \end{aligned} \quad (6.5)$$

Les prix dépendent alors du temps, des prix initiaux, et des variables de répartition. La rente sur la ressource environnementale est ainsi divisée en deux parties, un peu comme chez QUADRIO CURZIO et PELLIZZARI (Quadrio Curzio and Pellizzari [2003]) : le prix de production de la ressource naturelle p_r , équivalent au prix de reconstitution chez QUADRIO CURZIO et PELLIZZARI, et la rente environnementale comme résultat de la lutte pour une part du surplus généré par le système de production. Mais chez QUADRIO CURZIO et PELLIZZARI, si le niveau de cette rente environnementale procède bien d'un choix politique, il est supposé couvrir le coût environnemental généré par la non-reconstitution totale de la ressource environnementale.

Si l'on pose que le système des prix est stable, c'est-à-dire que les prix relatifs ne changent pas au cours du temps, alors le prix de production de la ressource naturelle devient, chez PERRINGS :

$$p_r = \frac{p_a [1 - a_1 (1 + \pi)] - l_1 p_l (1 + w)}{\Lambda_1 (1 + r)} \quad (6.6)$$

Dans le système de QUADRIO CURZIO et PELLIZZARI on aurait :

$$\begin{aligned} (a_1 + a_{1R}\Lambda_1) p_a (1 + \pi) + (l_1 + l_{1R}\Lambda_1) w + \Lambda_1 r &= p_a \\ p_r &= \Lambda_1 [a_{1R} p_a (1 + \pi) + l_{1R} w] \end{aligned} \quad (6.7)$$

Avec a_{1R} et l_{1R} les coefficients de la quantité de blé et de travail nécessaires pour reconstituer le maximum possible d'une unité de terre (la terre étant vue comme une ressource rare dégradée par le processus de production).

Pour le modèle d'O'CONNOR, cela donnerait :

$$\begin{aligned} (a_1 p_a + l_1 p_l + \Lambda_1 p_r) (1 + \pi) &= p_a \\ (a_2 p_a + l_2 p_l + \Lambda_2 p_r) (1 + w) &= p_l \\ (a_3 p_a + l_3 p_l + \Lambda_3 p_r) (1 + r) &= p_r \end{aligned} \quad (6.8)$$

Avec comme solution pour le prix de la ressource environnementale :

$$p_r = \frac{p_a [1 - a_1 (1 + \pi)] - l_1 p_l (1 + \pi)}{\Lambda_1 (1 + \pi)} \quad (6.9)$$

La différence avec Perrings est alors marginale.

Pour le système de Kurz et Salvadori, nous aurons, avec le salaire réel posé à $w = 1$ unité du bien a :

$$(a_1 p_a + \Lambda_1 r) (1 + \pi) + l_1 p_a = p_a \quad (6.10)$$

Ce qui signifie que la rente (ou plutôt *royalty*, car équivalente à un prix) est alors égale à :

$$r = \frac{p_a [1 - a_1 (1 + \pi) - l_1]}{\Lambda_1 (1 + \pi)} \quad (6.11)$$

Ce qui ce rapproche du traitement de Lipietz.

7 Conclusion : quel lien entre économie écologique et économie néo-ricardienne ?

PERRINGS et O'CONNOR appartiennent au courant de l'écologie économique : leur soucis est moins de déterminer le niveau de la rente adéquat pour protéger l'environnement que de mettre à jour les mécanismes de lutte entre systèmes de valeur différents entourant cette protection le courant de l'écologie économique n'est cependant pas homogène : ils se situent ainsi plus du côté de la science post-normal (Funtowicz and Ravetz [1994]), que du côté d'auteur comme COSTANZA qui militent pour une prise en compte de la valeur économique de l'environnement (Costanza et al. [1997]). Ils opèrent ainsi un rapprochement entre écologie économique et théorie néo-ricardienne. Ce rapprochement a été annoncé à plusieurs reprises (Christensen [1989], Judson [1989], Kronenberg [2010]), et se base sur le raisonnement suivant :

- La théorie néo-ricardienne met en valeur la décision politique concernant le partage du surplus (entre profit et salaire) en laissant explicitement ce choix en-dehors du système étudié ;
- La théorie en économie écologique met justement en exergue les luttes de systèmes de valeurs concernant la prise en compte de l'environnement, et veulent donc éviter que la valeur économique de l'environnement puisse être capturée une fois pour toute à l'intérieur d'un modèle économique (opposition à l'économie *de l'environnement*) ;
- La théorie néo-ricardienne se base sur un système de production qui prend en compte les flux physiques de ressources et de travail de manière non-aggrégée ;
- La théorie en économie écologique se base sur les lois de la nature, et notamment sur le principe d'entropie (dégradation de l'énergie et de la matière) et le principe d'équilibre des masses (même quantité de matière et d'énergie en entrée et en sortie de système), et rejette donc le principe de substitution des entrants dans toutes fonction de production agrégée.
- Enfin les deux théories se rejoignent dans la prise en compte d'un vecteur (plutôt qu'un scalaire) de consommation permettant de mesurer l'impact du type de consommation sur l'évolution du système économique et la dégradation de l'environnement.

Ce raisonnement apparait donc logique, et mériterait d'être concrétisé par un vrai modèle macro-économique prenant racine dans les deux théories. On peut à cet effet regretter le côté partiel de l'analyse de PERRINGS et O'CONNOR (focalisation sur l'environnement et délaissement de la question du travail notamment) et plus largement le fait qu'en économie écologique, il n'existe que très peu de modèles macro-économiques aboutis. Les années 60 et 70 avaient pourtant vu la naissance de plusieurs modèles globaux, c'est-à-dire considérant la Terre dans sa globalité, mais basés sur des technologies constantes. Ils mettaient en valeur les raretés absolues concernant les ressources environnementales, qui contraignent l'activité humaine (Boulding [1966], Meadows et al. [1972]). De nos jours, on peut citer comme modèle de VICTOR (Victor [2008], Jackson [2009]) comme l'un des rares modèles cherchant à comprendre l'impact macro-économique d'une réelle prise en compte de l'environnement : mais ce dernier s'appuie sur une théorie de la production néo-classique (fonction de production de type COBB-DOUGLAS).

Un modèle macro-économique se nourrissant des apports conjoints de la théorie néo-ricardienne et de la théorie en économie écologique reste ainsi à construire. Il permettrait idéalement de mesurer la dépendance de l'économie envers l'environnement, et de mesurer l'impact d'une politique environnementale sur les variables économiques (rentes, profit, salaire, chômage, etc.) : un croisement entre les modèles développés par PASINETTI (théorie néo-ricardienne pure, Pasinetti [1981, 1993]), QADRIO-CURZIO, PELLIZZARRI, KURZ et SALVADORI (théorie néo-ricardienne de l'environnement), PERRINGS et O'CONNOR (théorie en économie écologique) et VICTOR (macroéconomie) serait sans nul doute riche et fructueux.

References

- J.-P. Barde and D. W. Pearce. *Valuing the Environment: Six Case Studies*. Earthscan, London, 1991.
- Christian Bidard. Getting rid of rent ? 2013.
- Christian Bidard and Guido Erreygers. The corn-guano model. *Metroeconomica*, 52(3):243–253, 2001a.
- Christian Bidard and Guido Erreygers. Further reflections on the corn-guano model. *Metroeconomica*, 52:254–268, 2001b.
- K.E. Boulding. *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, pages 3–14. John Hopkins Press, Baltimore, 1966.
- P. P. Christensen. Historical roots for ecological economics - biophysical versus allocative prices. *Ecological Economics*, 1(1):17–36, 1989.
- C. W. Clark. *Mathematical Bioeconomics*. John Wiley and Sons, New York, 1979.
- John Bates Clark. *The Distribution of Wealth*. Macmillan, New York, 1899.
- Charles W. Cobb and Paul H. Douglas. A theory of production. *The American Economic Review*, 18(Supplement):139–165, 1928.
- Robert Costanza. Embodied energy and economic valuation. *Science*, 210(4475):1219–1224, 1980.
- Robert Costanza and Christopher Neill. *The energy embodied in products of the biosphere*, pages 745–755. Elsevier, Amsterdam, 1981.
- Robert Costanza and Christopher Neill. Energy intensities, interdependence, and value in ecological systems: a linear programming approach. *Journal of theoretical Biology*, 106:41–57, 1984.
- Robert Costanza, Ralph d’Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O’Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Sutton, and Marjan van den Belt. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 1997.
- Herman E. Daly. Alternative strategies for integrating economics and ecology. In Ann-Mari Jansson, editor, *Integration of Economy and Ecology - An outlook for the Eighties*, pages 19–29, AUTRE, 1982. Stundt Offset Stockholm 84.
- P. Dasgupta and G. M. Heal. *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge University Press, Cambridge, 1981.
- Sylvie Faucheux and Jean-Francois Nol. *Economie des Ressources Naturelles et de l’Environnement*. Armand Colin Editeurs, Paris, 1995.
- A. C. Fisher. *Resources and Environmental Economics*. Cambridge University Press, Cambridge, 1981.

- Silvio Funtowicz and Jerome R. Ravetz. The worth of a songbird: ecological economics as a post-normal science. *Ecological Economics*, 10:197–207, 1994.
- Nicholas Georgescu-Roegen. Energy analysis and economic valuation. *Southern Economic Journal*, 45(4), 1979.
- H. Hotelling. The economics of exhaustible resources. *Journal of Political Economy*, 34:137–175, 1931.
- Tim Jackson. Prosperity without growth ? Technical report, Sustainable Development Commission, 2009.
- W. S. Jevons. *The Coal Questions*. London, 1865.
- D.H. Judson. The convergence of neo-ricardian and embodied energy theories of value and price. *Ecological Economics*, 1(3):261 – 281, 1989. ISSN 0921-8009. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009\(89\)90009-8](http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009(89)90009-8). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0921800989900098>.
- Tobias Kronenberg. Finding common ground between ecological economics and post-keynesian economics. *Ecological Economics*, 69:1488–1494, 2010.
- Heinz D. Kurz. Rent theory in multisectoral model. *Oxford Economic Papers*, 30(1):16–37, 1978.
- Heinz D. Kurz. Goods and bads: Sundry observations on joint production, waste disposal, and renewable and exhaustible resources. *Progress in Industrial Ecology - An International Journal*, 3(4):280–301, 2006.
- Heinz D. Kurz and Neri Salvadori. *Theory of Production*. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- Heinz D. Kurz and Neri Salvadori. Classical economics and the problem of exhaustible resources. *Metroeconomica*, 52:282–296, 2001.
- Alain Lipietz. Les mystres de la rente absolue. commentaire sur les incohrences d’un texte de sraffa. *Cahier d’Economie politique*, 5:21–36, 1979.
- Dominique Lvy and Grard Dumnil. Valeurs et prix de production. le cas des productions jointes. *Revue Economique*, 33(1):30–70, 1982.
- Thomas Robert Malthus. *An Inquiry into the Nature and Progress of Rent and The Principles by which it is regulated*. John Murray, London, 1815a.
- Thomas Robert Malthus. *The Grounds of an Opinion on the Policy of restricting the Importation of Foreign Corn*. John Murray, London, 1815b.
- Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, and William W. Behrens III. *Limits to Growth*. New American Library, New york, 1972.
- Martin O’Connor. Value system contests and the appropriation of ecological capital. *The Manchester School*, 61(4):398–424, 1993.
- H. T. Odum and E. C. Odum. *Energy Basis for Men and Nature*. Mc Graw Hill, New York, 1981.

- OECD. Recommendation of the council of 26th may 1972 on guiding principles concerning international economic aspects of environmental policies. Technical report, 1972.
- Sergio Parrinello. The price of exhaustible resources. *Metroeconomica*, 52:310–315, 2001.
- Luigi L. Pasinetti. *Lectures on the Theory of Production*. Societeditrice il Mulino, Bologna, 1975.
- Luigi L. Pasinetti. *Structural Change and Economic Growth; A Theoretical Essay on th Dynamics of the Wealth of Nations*. Cambridge University Press, Cambridge, 1981.
- Luigi L. Pasinetti. *Structural economic dynamics: a theory of the economic consequences of human learning*. Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- Luigi L. Pasinetti. Economic theory and technical progress, March, 31 1999.
- Luigi L. Pasinetti. Critique of the neoclassical theory of growth and distribution. *BNL Quarterly Review*, 215:383–431, 2000.
- D.W. Pearce and R.K. Turner. *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf, New York, 1990.
- Charles Perrings. *Economy and Environment*. Cambridge University Press, Cambridge, 1987.
- Alberto Quadrio Curzio. Risorse e dinamica economica, tecnologia e rendite. *Gli economisti postkeynesiani di Cambridge e l'Italia*, 261:409–432, 2011.
- Alberto Quadrio Curzio and Fausta Pellizzari. *Rent, Resources, Technologies*. Springer-Verlag, Berlin ; Heidelberg, 1999.
- Alberto Quadrio Curzio and Fausta Pellizzari. *Rent, Technology, and the Environment*, pages 33–346. Ashgate, Aldershot, 2003.
- David Ricardo. *An Essay on The Influence of a Low Price of Corn on the Profits of Stock*. John Murray, London, 1815.
- David Ricardo. *Des principes de l'conomie politique et de l'impt*. Guillaumin, 1846, trad. fr., Paris, 1817.
- Joan Robinson. The production function and the theory of capital. *The Review of Economic Studies*, 21(2):81–106, 1953-1954.
- Neri Salvadori. On a new variety of rent. *Metroeconomica*, 35(1-2):73–85, 1983.
- P. Saucier. *Le choix des techniques en situation de limitation de ressources*. Phd thesis, 1981.
- Bertram Schefold. Critique of the corn-guano model. *Metroeconomica*, 52:316–328, 2001.

- Piero Sraffa. *Production of Commodities by Means of Commodities*. K. K. Vora, Vora & Co, Bombay, 1960.
- Ian Steedman. Exhaustible natural resources and sraffian analysis: introduction to a symposium. *Metroeconomica*, 52(3):239–242, 2001.
- Paolo Sylos Labini. Why the interpretation of the cobb-douglas production function must be radically changed. *Structural Change and Economic Dynamics*, 6:485–504, 1995.
- R. Torrens. *An Essay on the External Corn Trade*. J. Hatchard, London, 1815.
- Jeroen C.J.M. van den Bergh. Ecological economics: themes, approaches, and differences with environmental economics. *Regulatory Environmental Change*, 2:13–23, 2001.
- L. Venkatachalam. Environmental economics and ecological economics: Where they can converge? *Ecological Economics*, 61:550–558, 2007.
- P. A. Victor. *Managing without Growth. Slower by Design, Not Disaster*. Edward Elgar, Cheltenham, U.K. and Northampton, MA, USA., 2008.
- P. Vidonne. La rente et l'talon avec ressources rares homogènes. *Revue conomique*, Septembre, 1977.
- Edward West. *Essay on the Application of Capital to Land*. T. Underwood, London, 1815.
- Knut Wicksell. *Lectures on Political Economy*, volume 1. Routledge and Kegan Paul Ltd., London, 1934.