

Compte Rendu des recherches menées lors des évènements Les Mardis de la transition

Ref : 201902251635 <= 25/02/2019 ; 16h35

Sommaire

Ce compte Rendu portera sur les différentes recherches menées ce mois-ci :

1. Organisation
2. Le Modele World3
3. Transition Energétique, Résilience, Cellules Photovoltaïques, Photo-Thermiques, Isolations, Aides

Organisation

World 3

World 3 est le modèle Créé par l'équipe du MIT du Club de Rome animé par Denis Meadows en 1972 et qui a servi pour étudier notre monde/société thermo-industriel. Le résultat de ces recherches se trouvent résumées dans le livre (Rapport du Club de Rome) édité en 1972 et mis à jour régulièrement tous les 10 ans : la version 2004 est traduite en français et disponible de nos jours: 'Les limites à la croissance dans un monde fini'. Le modèle est présenté, analysé, expliqué et les résultats publiés dans ce livre, je ne m'attarderais pas à le présenter plus.

Ce modèle informatique est librement disponible sur PC et le logiciel qui permet de le modifier et lui aussi gratuit à des fins d'étude et de recherche, il s'installe parfaitement et facilement.

Domaine de validité du modèle :

L'équipe du MIT dans son rapport explique clairement que le domaine de validité du modèle se limite à l'étude de notre société Thermo-industrielle de 1900 à 2100 et jusqu'à ce que se mette en place dans le modèle l'effondrement du système. C'est là un point très important : Le modèle n'est plus annoncé comme valide à partir du moment où un effondrement important du système s'installe. Le modèle a été fortement simplifié pour pouvoir fonctionner sur des ordinateurs de 1972 ... beaucoup de ses paramètres sont co-intégrés (des paramètres indépendants sont intégrés en 1 seul par exemple ou d'autres se co-corrigeants dans le domaine de validité), certains paramètres sont ignorés ou absents dans le sens où ils sont négligeables ou leurs effets sont négligeables dans le domaine de validité du modèle.

Le but original de mon étude :

Le modèle de Meadows indique un effondrement (désormais très probable) de notre société avec une très forte baisse de la population, un système industriel disparaissant ainsi que les services.

On nous présente la Permaculture comme une possibilité de limiter l'effet de cet effondrement. Elle présenterait des avantages importants en terme de préservation des sols, de non utilisation de pesticides artificiels voire même de toute ressources nécessitant du pétrole, tout en présentant des rendements aussi bons que l'agriculture conventionnelle. La ferme du Bec Helloin et son étude par l'INRA tente de le démontrer. D'après ce que j'ai pu lire de l'étude de l'INRA, elle obtiendrait des rendements importants 10 fois supérieurs au conventionnel (rendement à l'ha cultivé), l'étude menée sur 1000m². Cependant l'INRA ne manque pas d'expliquer que pour maintenir ce rendement il ne faudrait envisager la culture sous cette forme que sur 700m² pour un homme (0.07 ha). En France, la moyenne des exploitations indique qu'un agriculteur cultive à lui seul 30ha. En fait les rendements à l'ha sont de l'ordre de 10x celle du conventionnelle, mais le travail demandé, lui est de l'ordre de 428x plus important ; et il n'est pas rare de voir des exploitations classiques fonctionnant à 100ha pour 1 homme. Par conséquent, il est évident que le besoin en main d'œuvre dans le cadre d'une généralisation de la permaculture risque fort d'être l'élément limitant la production ; en effet, le rapport 10x/428x implique que là où un agriculteur conventionnel nourrit 120 habitants, le permaculteur en nourrirait difficilement 3 (2.8) avec les normes de consommation Française actuelle

J'ai donc cherché à intégrer dans le modèle l'action d'une généralisation de cette pratique agricole au monde et voir comment réagirait le modèle.

Les imperfections du modèle :

1. Le modèle n'intègre que très partiellement la contrainte de main-d'œuvre pour l'agriculture : Il utilise plutôt la main d'œuvre nécessaire à l'agriculture comme variable modifiant la main d'œuvre disponible pour l'industrie et les services
2. Le modèle ne possède aucune boucle de rétroaction liant la production avec la main d'œuvre agricole (sic !) => quel que soit la population, et par conséquent la population active et donc les emplois agricoles la production par hectare reste inchangé ! (Fig. 1-1)
3. Le nombre d'agriculteur est même absent du modèle, seuls les emplois 'possibles' sont calculés (fig. 1-2).
4. J'ai donc intégré le nombre d'agriculteurs actifs dans le modèle et modifié la production en fonction du nombre d'agriculteurs disponibles par rapport au nombre d'agriculteurs nécessaires définis dans le modèle (Jobs per hectare). Mais le nombre d'emplois nécessaires (de producteur agricole) par hectare prévu par le modèle provoquait un effondrement complet et soudain. Il m'est apparu totalement irréaliste dans les conditions d'effondrement (hors industrie, hors outils, machine, voir animaux de trait et apport énergétique quelconque) : 2 personnes par hectares en cas de non disponibilité de l'industrie (fertilisant, tracteurs, moissonneuses-batteuses, animaux etc...) (fig. 1-3), ce qui impliquait étant donné les niveaux de rendement des terres du modèle qu'il ne nourrissait au mieux qu'1.69 personnes cela ayant donc pour effet la disparition de la population : le renouvellement implique au minimum 2 (et encore ce n'est qu'en théorie, on le verra plus tard). Au moyen âge voire même à l'antiquité et au néolithique, un agriculteur produisait forcément pour un peu plus de 2 personnes sinon l'agriculture n'aurait jamais été inventée, ce qui impliquait forcément une certaine productivité et un certain rendement de la terre qu'il me fallait donc établir ...
5. J'ai repéré et corrigé quelques erreurs de programmation du modèle qui apparaissent lorsque l'on sort des sentiers battus tel que des erreurs d'arrondis, des erreurs de division (division par zéro), un mauvais contrôle des paramètres en entrée de certaines fonctions.

Dans un système chaotique malheureusement des erreurs d'arrondis peuvent faire diverger fortement les résultats ; A ce jour il en est une sur l'évaluation du revenu par habitant à venir qui pilote la fertilité et donc la démographie qui provoque une forte divergence lorsqu'elle se produit (sursaut de natalité et donc de population).

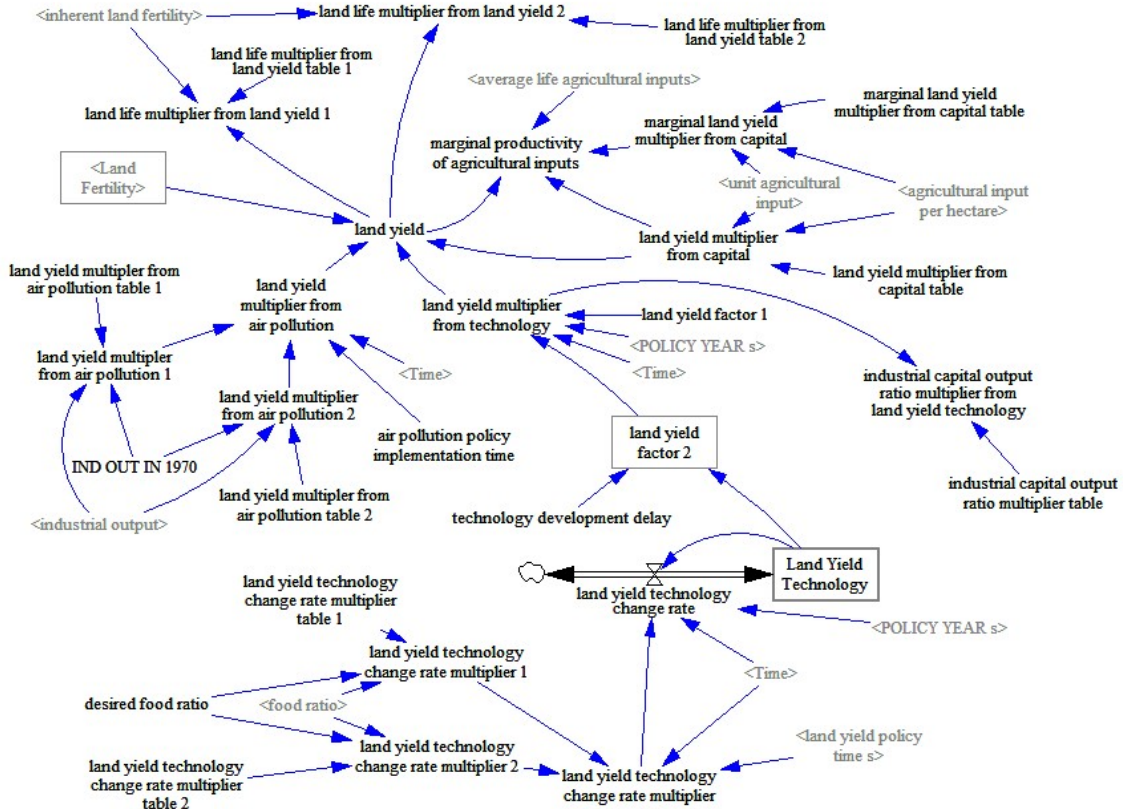


Fig.1-1 Agriculture Productivity

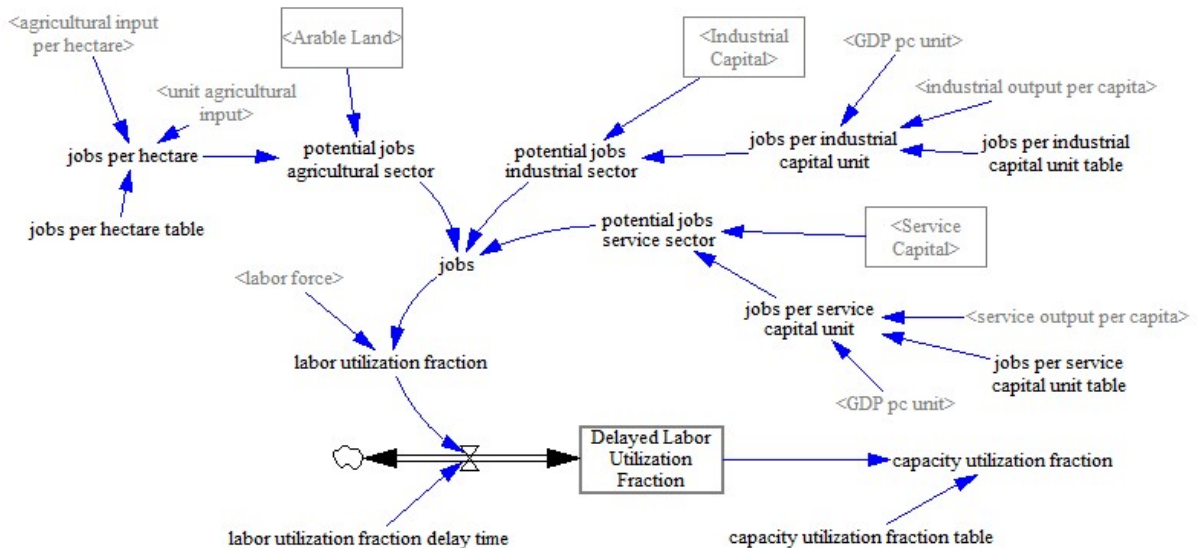


Fig.1-2 Jobs

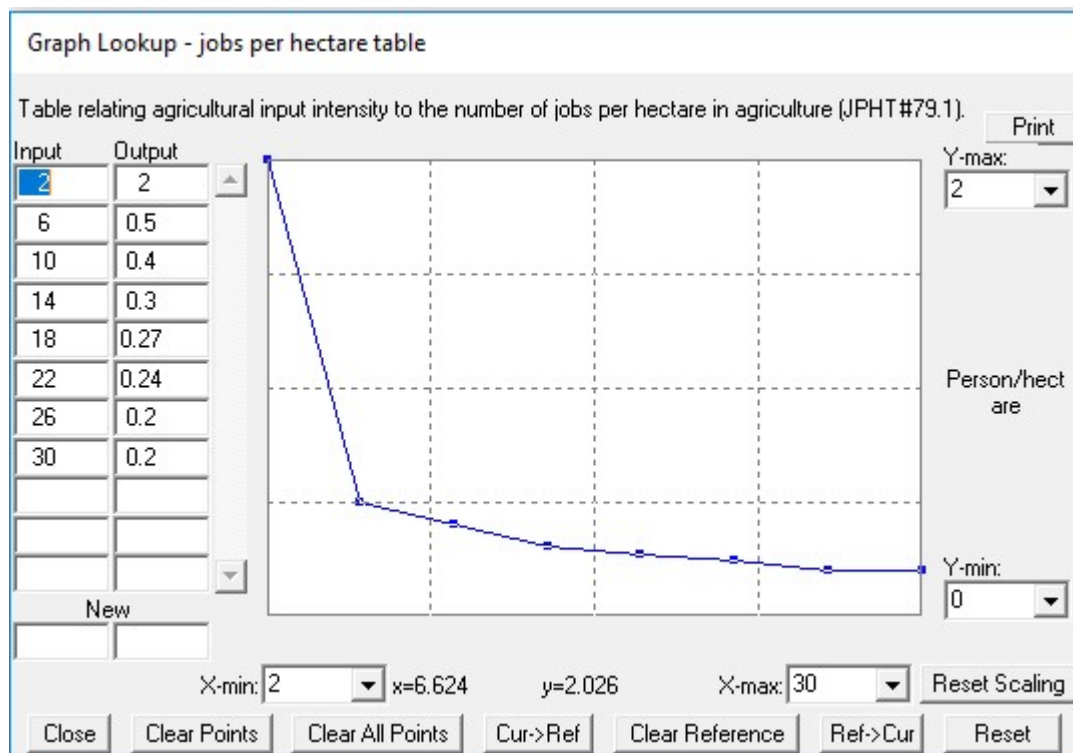


Fig. 1-3 Jobs per hectare Table

Analyse profond du modèle et recherche documentaire

J'ai un profond respect pour le travail du Club de Rome, et j'ai avant tout cherché à préserver leur travail si précieux, je n'ai donc modifié que les paramètres dont j'avais la preuve qu'ils ne pouvaient qu'être problématique lorsque l'on sortait du domaine de validité original : Alors, la première question auquel j'ai dû répondre : pourquoi le modèle prévoit '2 jobs per hectare' dans le cas où aucun accès à l'industrie n'est pas possible et surtout quel influence cette valeur avait dans le modèle World3 ?

La réponse est très simple : cela n'a aucun effet dans le modèle World3 car cette valeur n'est jamais atteinte (fig. 1-4), même très loin dans le temps après effondrement => donc elle se trouve très en dehors du domaine de validité du modèle. Cependant dans mon objectif de déterminer l'apport de la permaculture et étant donné l'importance de la main d'œuvre dans cette technique (n'utilisant aucun apport énergétique autre que la force humaine à priori et d'où son intérêt dans un monde sans pétrole) et dans le but aussi d'étendre le domaine de validité du modèle (par curiosité au néolithique par exemple) il me fallait absolument l'ajuster correctement pour étendre son domaine de validité.

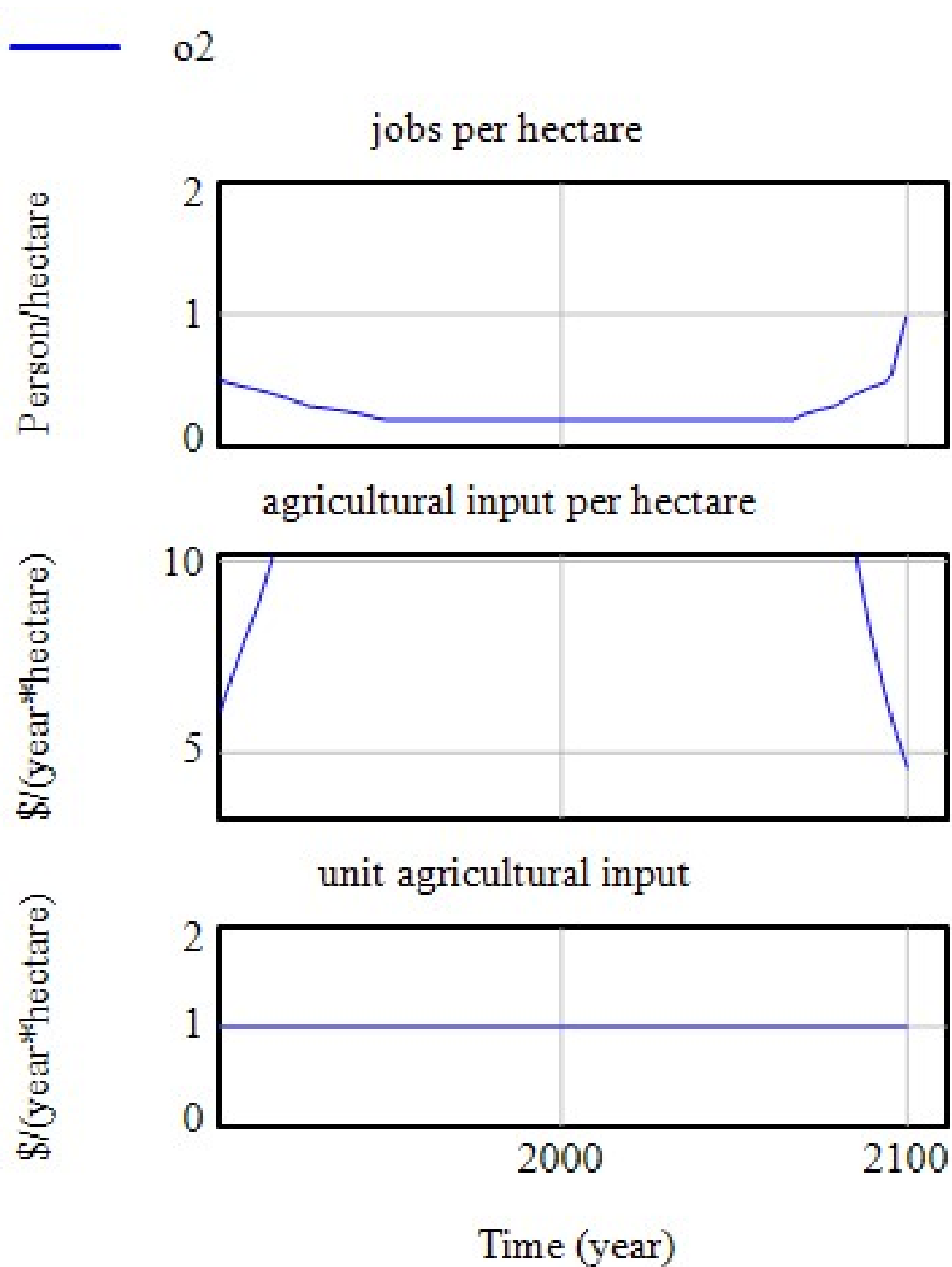


Fig. 1-4 La valeur de 'Agricultural Input per hectare' n'atteint jamais 2, et ne baisse en dessous de 6 que vers 2100 et en 1900 (5.33) donc très en dehors du domaine de validité (post-effondrement)

Comment ajusté cette valeur qui dans le domaine de validité étendue sera utilisée.

Borné la valeur en partant des faits historiques :

1. Il est certain que l'agriculture apporte un accès à plus de nourriture que la cueillette et la chasse, sans quoi cela n'aurait pas été inventé.
2. De 1. On en déduit que il y a 10000 ans se nourrir en travaillant la terre permettait le renouvellement la population (sinon nous ne serions pas la ...)
3. De 2. On en déduit que le travail de la terre d'une personne doit pouvoir en nourrir au minimum 2 (l'agriculteur lui-même, et l'enfant qui le succèdera (renouvellement de la population sans accroissement)
4. De 3. On en déduit que le rendement du travail d'un homme au néolithique devait forcément apporté au minimum 2x l'apport nutritionnel nécessaire à sa survie
5. De 4. On en déduit que dans ce cadre (postulat 4) que si les 2 parents travaillent la terre et disposent de la même force de travail ; qu'ils participent donc à nourrir une famille de 4 personnes (2 parents + 2 enfants) nécessaire au renouvellement de la population.
6. De 5. On en déduit que toute la population est agriculteur et qu'il n'y a aucune place a d'autre activité et qu'a priori la répartition de celle-ci est la suivante : 50% d'actif agriculteur et 50% d'enfant, pas de personnes âgées ne pouvant plus travailler, pas d'artisans, pas de chef, pas de religieux, pas de commerçants => on sait que cela est faux, qu'il y avait déjà des chefs, des religieux, des anciens, des artisans, des commerçants etc...
7. De 6. On en déduit donc que le rapport de production en nourriture d'un paysan doit être supérieur à 2. Et si l'on prend le facteur d'actifs dans la population d'âge à l'être, utilisé dans le modèle World3, qui vaut 0.75 (part des malades ou inaptes au travail, emprisonnés ...), il faut donc au minimum un rendement de 2.6667 personnes nourrit par paysan. Ceci pour fixer les idées, il est bien entendu que ce facteur de 0.75 pourrait être modifié dans un contexte hors thermo-industriel donc en sortant du domaine de validité original. Ce que je n'ai pas fait pour le moment, en 1961 la part de participation au travail parmi les actifs dans le monde était de 66% (80% male 15+ ; 51% female 15+) (World Bank, data social développement). Ce paramètre fera peut être l'objet d'une recherche ultérieure, car il pourrait avoir une grande importance.

References :

<https://data.worldbank.org/indicator/SL.TLF.CACT.MA.ZS?view=chart>

<https://ourworldindata.org/employment-in-agriculture>

https://baripedia.org/wiki/Une_gigantesque_paysannerie

https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/cep_document_de_travail_11_la_population_paysanne_reperes_historiques0609.pdf

Déterminer l'apport nutritionnel nécessaire à la survie de l'organisme humain dans World3 et son rapport à la réalité:

C'est assez facile d'obtenir cette information : la FAO (Nation Unies) le définit ainsi :

Apport nutritionnel (kcal/j)	Définition FAO :	Equivalent céréales consommés en kg/an/p (1kg=3300 kcal)	Equivalent de céréales produites en kg/an/p	Seuils de World3 ; équivalent céréales en kg/an/p		Facteur d'espérance de vie de base (1=28 ans)	Population	Part de Viande Kg (FAO)
<1500	Famine	166		0			Baisse	
<2000	Sous nutrition	222		223	Subsistance (seuil réel du modèle)	0.97=27 ans	Population Stable	
2080				230	Subsistance	1=28 ans	Population stable	
<2400	Mal nutrition	265				1.07=30 ans		
2196	Moyenne mondiale 1961 FAO	242	535 (x2.21)		4837 kcal/j équivalent céréales			23
2884	Moyenne mondiale actuelle FAO	319	604 (x1.9)		5456 kcal/j équivalent cereales			43, eur ope =76
4159 4267				460 472	> 2x 230 > valeur calculée pour l'an 2000	1.43 = 40 ans		
2727	An 2000	301						
6238				690	Esperance de vie maximum	1.5 = 42 ans		

Les équivalences en kcal de différents aliments

Pour 1kg consommé	kcal	Proteines (g)	Lipide (g)	Glucide (g)	Poids en céréales pour produire 1kg (kg)	Kcal cereales equivalentes pour 1kg consommé (kcal)	Kcal cereales produites pour 1 kcal consommées
Viande (moy ponderée)	1262				7	8834	7
Boeuf	1800-2300	200			7-10	23100	12.16

Porc	1130-2000				4	13200	7.928
Poulet	1000				2	6600	6.6
Dinde	1100				2	6600	6
Thon	1440						
Œuf	1450	140	120				
Lait entier	63	350	36	50			
Emmental	3820						
Céréales (blé)	3300				1	3300	1
Pomme de terre	860						
Petits pois	820						
Carottes	360						
Haricots Verts	250						
Poireaux	310						
Autres légumes (moy)	140	8		35			
Legumineux							
Legumes racines (moy)	200-400						
Fruits	400-800						
Fruits secs	2920						

Sources diverses, diététique (<http://www.infocalories.fr/index.php>)

La production de nourriture et sa consommation dans World3

World3 évalue la nourriture sous la forme de masse de céréales équivalente donc en kg de céréales ; attention : contrairement à l'unité utilisée dans World3 : kg veg cela ne veut pas dire kg de légumes donc kg de légumes, mais bien kg de céréales ! Et il est facile de s'en apercevoir : World3 définit la quantité minimum de substance à 230 kg veg par an et par habitant, sachant que la FAO définit le minimum vital autour de 2000 kcal/jour, si cela était des légumes le compte n'y serait pas et seules les céréales permettent de faire correspondre cette valeur.

World3 utilise donc comme unité les kg équivalent céréales, et intègre toute consommation ou production autre en termes de production consommée de céréales. Le cas de la viande est particulièrement démonstratif : le rapport du club de Rome indique clairement qu'ils utilisent un facteur de conversion de 7 entre la viande et sa production/consommation équivalente en céréales :

Le cas de la viande

Il est admis que pour nourrir les animaux producteur de viande dans notre société actuelle il faut leur donner à manger une certaine quantité de végétaux qui sont, je crois, des céréales la plus part du temps et que l'on peut équivaloir en tout cas à une quantité de céréales. Le tableau ci-dessus donne les équivalences viande->céréales. Il faut pour le bœuf environ 7 à 10 kg de céréales pour produire 1 kg de viande consommable, ce 1 kg de viande ne rapporte en retour que 1800 à 2300 kcal (moyenne prise de 1900 kcal) ce qui implique la chose suivante : il faut 7kg céréales équivalent a 7x3300kcal 23100 kcal pour obtenir 1x1900 kcal soit 12.16x moins de kcalories !! En prenant l'ensemble des viandes et en les pondérant par leur part de consommation respective on obtient une moyenne de 7 kcal produites pour 1 kcal consommée pour 1 habitant, cqfd.

Je n'ai pas encore travaillé la part des légumes et fruits, mais les documents que j'ai pu lire pour l'instant mais qui reste à vérifier indiqueraient que les légumes demandent environ 2x plus de travail que les céréales pour une même masse produite, à cela s'ajoute qu'en moyenne les kcal apportées par les légumes sont inférieures au quart du blé ; 1 kg légumes (pomme de terre) = 1/4 kg céréales. Bien que le rendement à l'ha soit environ de 5x à 8x plus grand (30 à 50t/ha pour la pomme de terre en mécanisé moderne et bio (30t)) ; au 18^e siècle, le rendement était d'environ 5x le blé (env 5000 kg/ha = 1.25x kcal blé).

L'importance des céréales est clairement corroboré avec l'histoire qui du temps des gaulois, de la Rome, de l'Égypte et du moyen âge (notamment) était clairement le socle voir même parfois la seule façon de se nourrir (dictature du blé au moyen âge), importance du blé d'Égypte pour Rome. De nos jours encore, les céréales sont le socle de notre survie.

Production de viande par le pâturage :

Il peut être objecté que les animaux peuvent plutôt que de consommer des céréales produites aller pâturer pour manger l'herbe et ainsi épargner la production agricole. Cependant c'est oublier que chaque terre mise en pâture pourrait aussi être mise en culture.

Surface par vache nécessaire : de 0.5 à 1 ha pour une vache et son veau ;

Rendements agricoles actuels et passés : (source FAO)

En France 6000 à 8000 kg de blé/ha (agriculture conventionnelle intensive et mécanisée) = 6000x3300kcal=19800000 kcal

Dans le monde 2600 kg de blé/ha=8580000 kcal

Dans les exploitations où l'agriculture est totalement manuelle : 1000 kg/ha = 3300000 kcal

Au moyen âge : 600 kg/ha dont seul 450kg était exploitable car il fallait garder le quart de la semence pour replanter, rendement 4 grain pour 1 dont 3 grains sont utilisables = 3 grain consommé pour 1=> et oui ! Et on y reviendra plus tard. = 450x3300 = 1485000 kcal

Production d' 1ha de pâturage intensif (en bande, 85% de récolte de l'herbe) en prenant 0.5 ha pour une vache et son veaux : 1100 kg/ha de viande = 2530000 (2300kcal/kg) ou 2090000 kg (1900kcal/kg)

Pomme de terre de nos jours en France : 30 à 50 t /ha pour 1.5t planté, [http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/13689/\\$File/pommedeterre-web.pdf](http://rhone-alpes.synagri.com/synagri/pj.nsf/TECHPJPARCLEF/13689/$File/pommedeterre-web.pdf)

Type de production	Poids produit par ha	Kcal produite / ha	Rapport de kcal produite si le même champ était cultivé en blé : Rapport de production à l'ha céréales intensive
Bœuf pat. intensif	1100	2530000-2090000	7.826 - 9.474
Bœuf pat. normal	600	1380000 - 1140000	14.35 – 17.37
viande, nourrit aux céréales			7
Céréales intensive moderne	6000	19800000	1
Céréale (monde)	2600	8580000	2.308
Céréale manuelle	1000 – 900 (semence de 100 kg env)	3300000 - 8250000	6 – 6.67

Céréale au moyen âge	450	1485000	13.33
pomme de terre	48500	41710000	0.475
Pomme de terre bio	28500	24510000	0.808

Donc, non le bœuf en pâturage ne permet pas d'économiser de la production céréalière et le rapport de 7 reste valide et même optimiste.

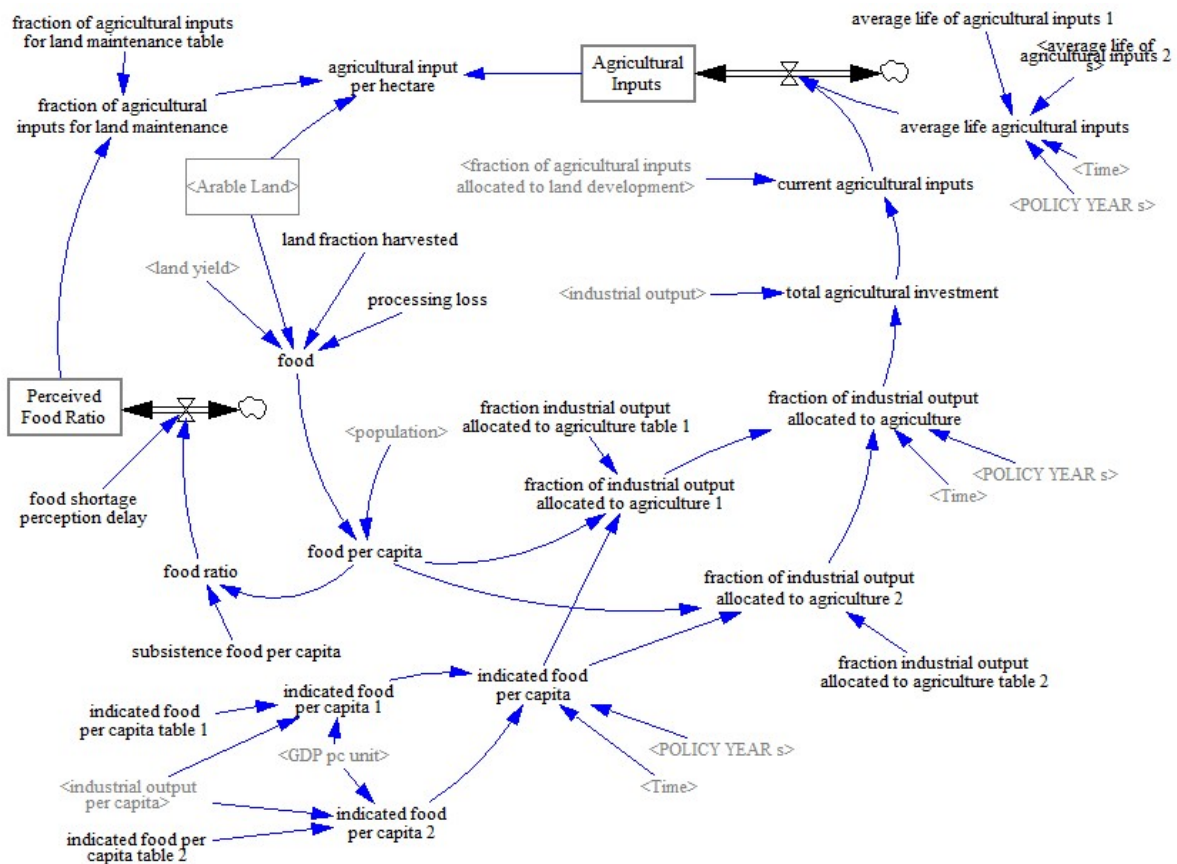
Le choix de la masse de céréales comme unité de mesure dans le modèle (totalement justifié) impose donc certaine gymnastique pour traduire certaines données et résultats :

Les rendements et la fertilité dans World3

Le modèle pose une production de base par hectare de 600kg de céréales, cette valeur est totalement justifiée, elle correspond parfaitement au rendement de la terre relevé historiquement et notamment au moyen âge (qui est en vérité une époque où, en Europe, les rendements étaient les plus faibles) : 800-850 kg/ha à l'époque Gallo-romaine, 600kg (de base), 450 kg (utilisable) au moyen âge, et de nouveau 800 kg après la renaissance pour monter à environ 1000kg milieu du 19^e (1^{ere} révolution verte, mécanisation animale, gestion des cultures) et 1200 kg au début du 20^e, en Afrique encore de nos jours les exploitations manuelles traditionnelle produisent environ 1000 kg/ha.

(<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur210.pdf>).

Le rendement final à l'ha du modèle World3.



A partir d'une fertilité de base de 600 kg <Land Fertility >, on obtient le rendement de base <land yield> en le multipliant par 1 sans industrie donc 600kg/ha, le modèle se basant sur l'usage moderne des terres arables pose les postulats suivants : part des terres réellement cultivées <land fraction

harvested> = 70%, pertes après récoltes <processing loss>= 10%. Ce postulat inclut qu'il faut des chemins entre les champs, qu'il faut des zones de manœuvres pour nos machines mécanisées (environ 10m de chaque côté du champ sur 1ha (100mx100m) = 10mx2x100m = 2000m² pour la manœuvre soit une culture d'environ 80% du champ, et divers aménagements, ce problème de la perte de la surface et de l'aménagement des champs apparaît aussi dans la culture permacole des 1000m² de la ferme du bec helloin. Pour les pertes après récoltes elles s'établissent dans nos pays occidentaux autour de 5% et pour le monde de 10%. Au moyen âge les pertes variaient entre 10 et 37% pour une moyenne de 15 à 20% ; les pertes dépendent du niveau de mécanisation et de l'énergie disponible pour le transport entre autre, plus on va vite à protéger la récolte, moins il y a de perte, plus on dispose de système de conservation moins il y a de pertes, plus les machines sont bien réglés et performantes, travaillent vite pour le traitement post-récolte (battage du blé) moins il y a de perte.

Donc dans World3 le rendement utilisable des récoltes de base est de 378kg/ha = 600 kgx0.7x0.9 ; ce rendement net (de base) est très proche (même inférieur selon l'époque) de celui obtenu au moyen âge (une des périodes les pires bien documentée). Cela représente donc pour 1ha, moins de 1.695 habitant nourrit par ha. Hors on a vu que le modèle World3 prévoit en absence d'industrie la nécessité de 2 agriculteurs par ha, soit 0.5ha/agriculteur, ce qui reviendrait à poser une productivité de 189kg/agriculteur, soit 0.848 habitant par agriculteur (même l'agriculteur ne se nourrirait pas de son travail ...). Cependant, comme indiqué au début, World3 n'a pas de boucle de rétroaction liant le travail humain à la production de nourriture ; World3 ne tient pas compte de la force de travail humaine pour corriger la production de la terre, elle reste donc à 378kg/ha quel que soit le nombre d'agriculteur disponible. Même ainsi le rapport de 378 kg/ha fixe et donc 1.69 habitant nourrit par ha impose donc, pour permettre le renouvellement de la population, d'étendre la quantité d'ha cultivé à 1.18ha par agriculteur pour obtenir un ratio de 2 habitant/ et même pour obtenir le ratio minimum du modèle de 2.67 de passer à 1.575 ha par agriculteur minimum.

Le modèle imposant 0.5ha/agriculteur, dès que l'on intègre la productivité humaine dans le modèle, il y est impossible de faire vivre une population d'agriculture manuelle sans industrie, alors que l'histoire nous prouve le contraire. Ce rapport est-il faux ou le rendement, ou d'autres éléments (fertilités des terres choisie par les peuples du néolithique bien meilleure que celle du modèle, vallée du Nil, vallée de Tibre et de l'Euphrate, vallée du Yangzi en chine, plaines plus fertiles que les plaines du nord de l'Europe ?)

Références :

« **Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine**

De Marcel Mazoyer, Laurence Roudart «

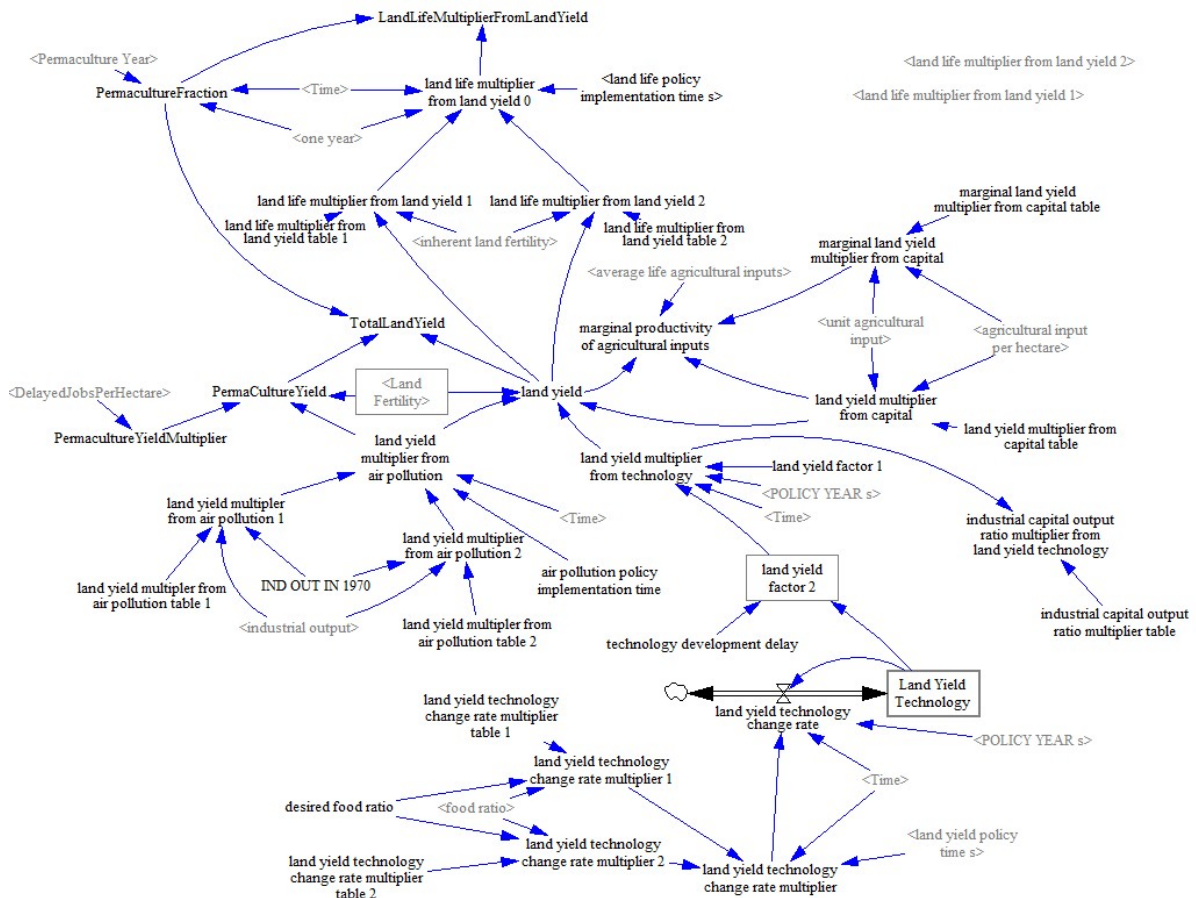
Il y a donc un problème à résoudre dans l'évaluation du travail humain nécessaire à la production de nourriture dans World3 que je me suis attelé à résoudre par la suite : Soit le rendement de la terre n'est pas bon, et pour le moment je considère qu'a priori cela n'est pas le cas ; soit que le travail manuel programmé par le modèle est bien trop grand.

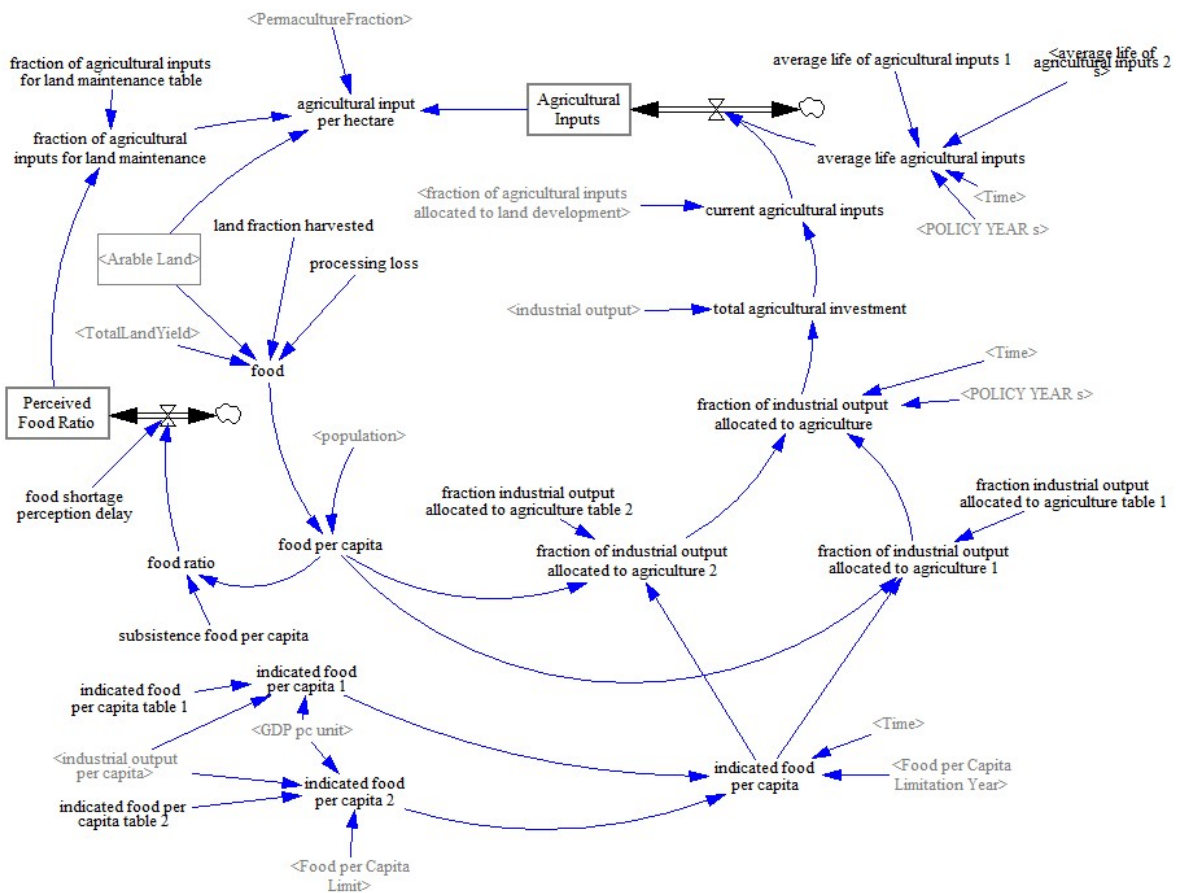
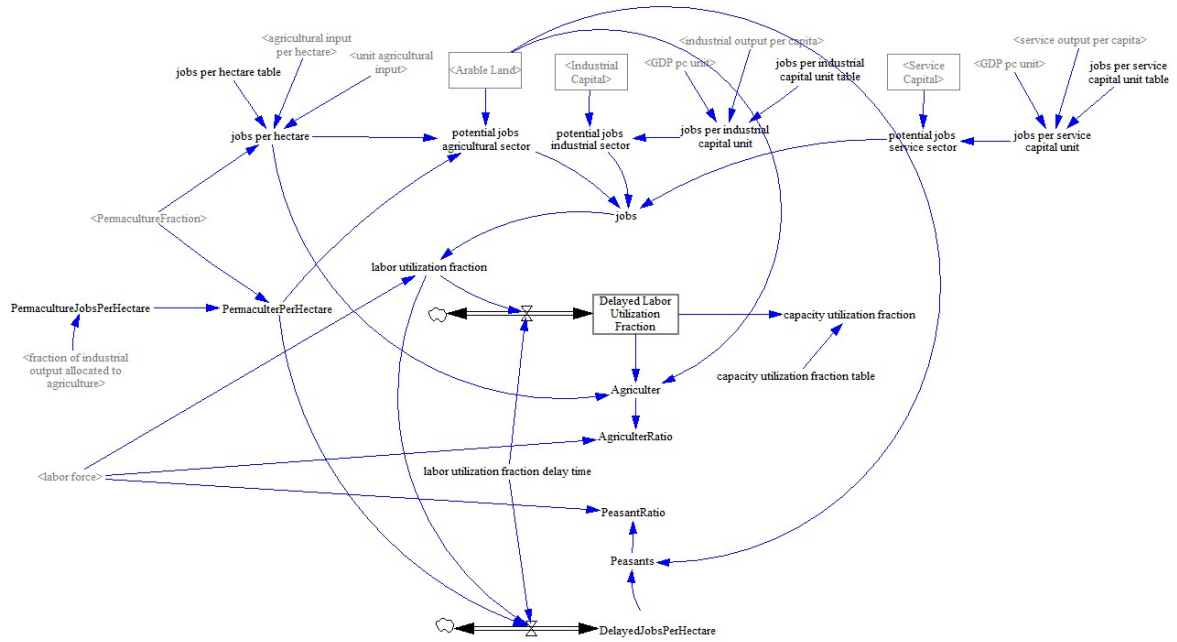
Est-ce possible de vivre d'agriculture sans mécanisation, sans traction animale (cas a priori de la permaculture) ?

Pour répondre à cette question nous avons une première approche : l'étude de la ferme du bec Helloin: et celle-ci nous dit qu'il faut compter un temps complet à 35h/semaine pour s'occuper de 700m² (les 1000m² étudiés imposaient parfois des dépassements d'horaires homme sur l'année). Cela représente donc 14 agriculteurs par ha ; 0.07 ha par agriculteur : on est très loin des 1.575 ha par agriculteur imposé par le modèle. Cependant, cette technique a un très haut rendement à l'ha ; En rapportant cela à la quantité de kcal par rapport au blé avec un rendement d'environ 30t/1000m², soit 300t/ha de légumes on trouve donc : 0.07 ha x 300000kg*860/3300 = 5472 kg équivalent blé (78 t/ha) en pomme de terre (860kcal/kg) soit 25 habitant nourrit pour 1 agriculteur ou encore 1900 kg equiv blé (27t/ha) en légumes divers (300 kcal/kg), soit environ 9 personnes par agriculteur.

Donc c'est possible, mais au prix d'une ressource en main d'œuvre près de 15 fois plus importante qu'actuellement : 500000 agriculteur pour 65M d'habitant en France, de 1 pour 120, on passerait à 1 pour 8.561 => il faudrait donc 7.6M d'agriculteur, a peu près le même nombre qu'il y avait en France en 1900. Quel serait donc l'effet de ce besoin très important en main d'œuvre sur le système entier ?

J'ai donc intégrer au modèle la conversion de tous les terres arables en permaculture (conversion assez rapide)



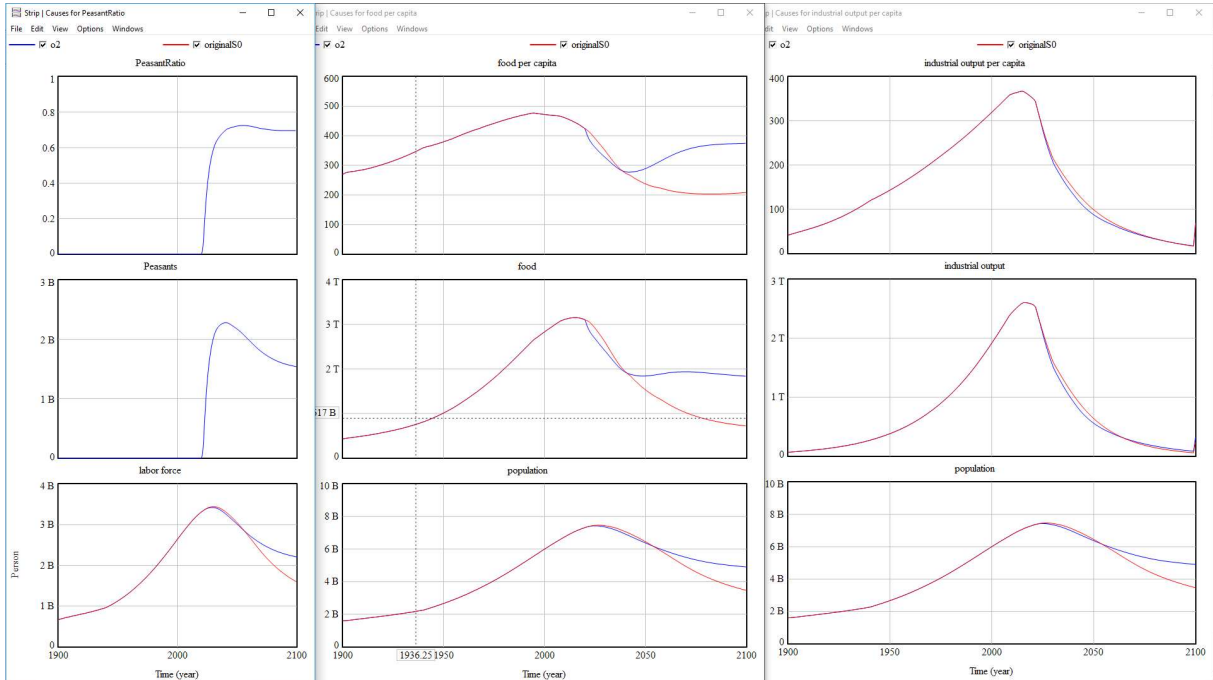


En y intégrant, à côté du cycle de production du modèle sans y interférer, une boucle de rétroaction sur la quantité de main d'œuvre nécessaire au rendement de ce mode de culture au travers du paramètre <PermaculterPerHectare> qui est mis au quotient du nombre de permaculter disponible pour obtenir directement le rapport de rendement. Cette boucle a été mise en parallèle et à part de la boucle principale de production de nourriture du modèle et vient peu à peu la remplacer au cours du temps. Ainsi je ne touchais pas au modèle dans son fonctionnement original et pouvait choisir le

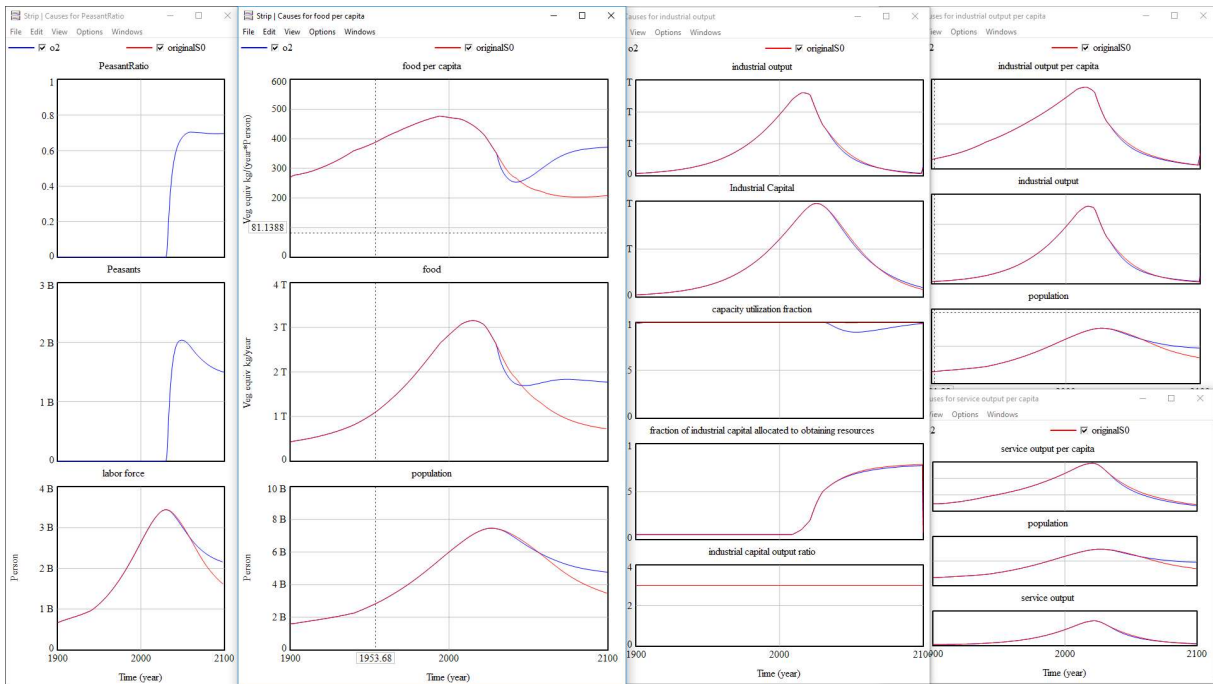
mélange des 2 modes de production et la date de conversion à la permaculture pour y évaluer ses effets.

Résultat d'une conversion des terres arables en permaculture : Permaculture.mdl

À partir de 2020 :



A partir de 2030



Et si on était s'était lancé dans la permaculture depuis le 1900 :

