
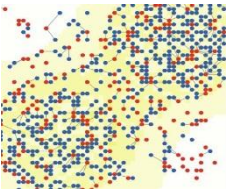


Fiche pédagogique Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

Domaine d'application : géographie, économie, écologie

Spécificité pédagogique : notion de résilience illustrée par un modèle multi-agents
(adaptation du modèle SugarScape)

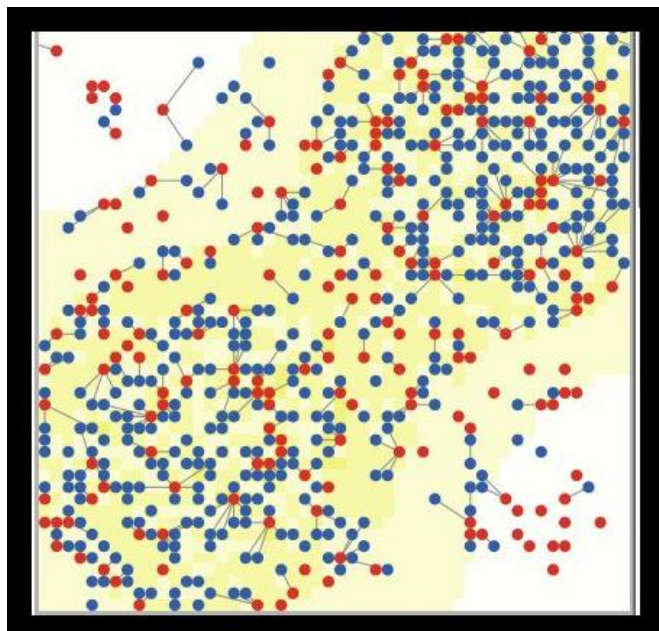
Niveau modélisation requis : débutant

Nom du modèle associé : Résilience

Version de NetLogo nécessaire : 5.0

Auteurs : Nicolas Becu (UMR PRODIG, Paris), Bertrand Blanpain, Françoise Duraffour (UMR PRODIG, Paris), Clara Schmitt (Géographie-Cités, Paris)

RESILIENCE




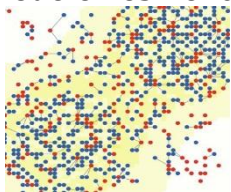

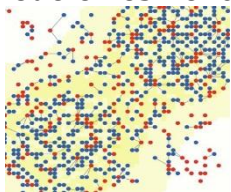
Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014 MAPS 3 http://maps.hypotheses.org
--	---	---

TABLE DES MATIERES

A. CONTEXTUALISATION DU MODELE	3
La notion de résilience.....	3
B. DEFINITION DU MODELE.....	5
Le modèle Sugarscape	5
Les amendements pour le modèle Sugarscape-Résilience	6
Les enjeux de l'exploration du modèle Sugarscape-Résilience pour l'illustration de la notion de résilience.....	7
C. FONCTIONNEMENT DU MODELE.....	7
D. EXPLORATION DU MODELE.....	8
Exercice 1 : Prise en main du modèle	9
Exercice 2 : Evaluer la viabilité du système.....	10
Exercice 3 : Evaluer l'effet de la rigidité du système (taxe) sur sa résilience.....	12
Exercice 4 : Evaluer la capacité d'adaptation des individus via la stratégie du changement de rôle	13
Exercice 5a : Pour aller plus loin sur la notion de résilience : définir le potentiel du système	15
Exercice 5b : Pour aller plus loin dans la programmation : découvrir le code informatique du modèle et modifier ses paramètres.	15
E. CONCLUSION.....	16
F. BIBLIOGRAPHIE.....	17

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

La notion de résilience d'un système donne une façon de concevoir et d'expliquer des cycles successifs d'apparition et de disparition d'entités et de structures d'un système. Cette notion se comprend avant tout par rapport à un choc. Holling (Holling C. S. 1973) l'a définie comme la capacité d'un système à revenir après un choc ou une perturbation extérieure à l'état du système précédent le choc. Différentes définitions ont été données de la résilience, différents usages en ont été faits, ce qui rend cette notion difficile à aborder. L'objet de cette fiche est de guider l'apprenant dans la compréhension et l'appropriation de cette notion. Nous nous limiterons uniquement à la définition proposée par Holling et nous proposons d'utiliser la simulation et l'expérimentation multi-agents pour appréhender cette notion.


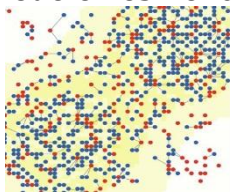
A.Contextualisation du modèle

La notion de résilience

Holling a développé son approche de la résilience en se basant sur la description de systèmes écologiques (Holling C. S. 1973). Cette notion et les concepts qui l'accompagnent ont été étendus par la suite à des systèmes sociaux et économiques, par Holling (Holling C.S 2001) ou par d'autres auteurs (Simmie & Martin R. 2010, Martin & Sunley P. 2006). Ainsi en économie, la résilience est définie par la capacité à revenir sur la trajectoire de croissance après avoir encaissé un choc.

Nous allons explorer à travers cette fiche et le modèle multi-agents qui l'accompagne, certaines des propriétés qui permettent à un système de se remettre ou non d'un choc. Ces propriétés se limitent à celles proposées dans la définition de la résilience de Holling. Elles sont au nombre de trois : le potentiel d'un système, la capacité d'adaptation des entités qui le composent et sa rigidité. En nous appuyant sur une extension du modèle Sugarscape (Li, J. and Wilensky, U. 2009), nous abordons dans cette fiche ces dernières propriétés.

Avant tout, pour pouvoir étudier un système et sa résilience, il convient de donner une définition du **système étudié et de son état**. La résilience d'un système s'observe à l'échelle de ce système uniquement, et il est nécessaire de définir l'état du système pour reconnaître sa


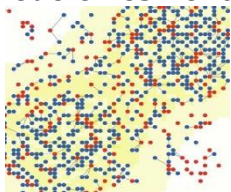
Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

résilience. Un observateur peut définir un état du système et de sa dynamique à partir d'indicateurs qui le caractérisent.

Le potentiel d'un système peut s'apparenter à sa santé à un moment donné. Ce potentiel définit la limite de ce qui est possible à un moment donné et « l'ampleur / le niveau » de perturbation qu'un système peut absorber avant qu'il ne s'écroule. On peut donner l'exemple de la pêche systématique dans un lac : elle diminue progressivement le potentiel de l'écosystème, défini ici par la taille de la population de poissons, tant et si bien que lorsqu'une catastrophe survient et tue un trop grand nombre d'individus, l'écosystème s'effondre. La pêche fait baisser le potentiel du système en réduisant la population de poissons, et si cette population passe en dessous d'un certain seuil, le système devient incapable de retrouver une population de poissons qui s'auto-entretienne. Dans le domaine économique, on peut par exemple illustrer ce potentiel par le nombre d'entreprises et la diversité des secteurs qu'elles couvrent.

La rigidité d'un système se définit par les interdépendances qui existent entre les entités d'un système. La chaîne alimentaire est un exemple d'interdépendance entre espèces. Une entreprise et ses fournisseurs est également une autre illustration de cette interdépendance. Holling avance qu'à partir d'un certain seuil d'interdépendance entre les entités d'un système, le système va être moins à même de se remettre d'un choc, car la disparition de l'une de ses composantes entraîne la disparition de l'autre. Ainsi, la disparition du plancton dans un lac va entraîner la disparition d'espèces qui se nourrissent exclusivement de plancton. De même, un dysfonctionnement à la tête d'une administration extrêmement centralisée a des répercussions sur l'ensemble du territoire administré.

La capacité d'adaptation des composantes d'un système représente leur faculté à réagir de manière différenciée lorsqu'un événement survient. En écologie, c'est par exemple une adaptation du régime alimentaire. En économie, ce pourrait être la capacité d'innovation d'une entreprise. Il est important de distinguer la capacité d'adaptation des entités qui composent le système, de l'adaptation du système à un choc. De l'adaptation des individus à un changement du système dans lequel ils évoluent, va soit émerger la résilience du système lui-même, soit sa « perte ». C'est l'interaction des adaptations au niveau individuel qui va conditionner la résilience ou non du système.


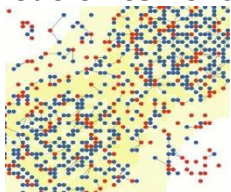
Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

B. Définition du modèle

Le modèle Sugarscape

Dans le chapitre 2 du livre Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up (Epstein J. M. and Axtell R. 1996), Epstein et Axtell ont décrit le modèle Sugarscape. Celui-ci cherche à explorer le processus qui conduit à l'inégale distribution de la richesse dans une population : à partir d'une distribution égalitaire de la richesse, la simulation évolue vers une distribution dans laquelle une minorité de la population possède une richesse au-dessus de la moyenne du système et une majorité possède une richesse beaucoup plus faible. Sugarscape est un modèle de simulation individus-centré de sociétés artificielles, qui fait évoluer une population hétérogène d'agents dans un environnement (une grille à deux dimensions) où du sucre, symbolisant la ressource, pousse de façon continue mais est réparti de façon hétérogène dans l'espace. A chaque itération, les agents regardent autour d'eux, trouvent la cellule la plus proche et la plus riche en sucre, l'atteignent, récoltent le sucre et en consomment.

Li et Wilensky (Li, J. and Wilensky, U. 2009) ont construit une version simple de ce modèle sous NetLogo : chaque patch contient du sucre, dont la quantité maximale est prédéterminée. A chaque itération, chaque cellule retrouve une unité de sucre jusqu'à atteindre la quantité maximale. La quantité de sucre accessible à une itération donnée est indiquée par la couleur : plus le jaune est foncé plus la quantité de sucre est grande. A l'initialisation de la simulation, les agents sont répartis de façon aléatoire dans l'environnement. Les agents ne peuvent voir qu'à une certaine distance. A chaque itération, les agents scrutent les alentours dans leur champ de vision, bougent vers la cellule inoccupée la plus proche et qui contient le plus de sucre, et collectent le sucre présent. Si la cellule sur laquelle ils sont est la plus avantageuse, ils restent sur place et collectent le sucre qui y repousse. Les agents sont capables de construire des réserves de sucre, mais ils utilisent, et donc perdent, à chaque itération une certaine quantité de sucre qui correspond à leur métabolisme. Si un agent consomme tout son sucre, il meurt. Chaque agent a un âge maximum, qui lui est attribué de façon aléatoire entre 60 et 100 ans, et meurt lorsqu'il atteint cet âge.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

Les amendements pour le modèle Sugarscape-Résilience


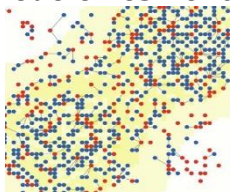
Le modèle Sugarscape (Sugarscape 3 Wealth Distribution) accessible par la librairie NetLogo a ensuite été amendé pour donner un support d'illustration à la notion de résilience. Il s'agit, dans cette nouvelle version, nommée Sugarscape-Résilience, d'introduire de nouveaux mécanismes pour refléter les concepts inhérents à la résilience.

Deux rôles comportementaux d'agents ont été introduits : les récoltants et les rentiers. Les récoltants ramassent le sucre de la même manière que décrite précédemment. Il doit par ailleurs verser une taxe à l'agent rentier qui se trouve le plus proche de lui. S'il n'existe aucun rentier, le récoltant ne verse aucune taxe. Les rentiers ne sont pas capables de ramasser le sucre et ne peuvent donc constituer leur réserve de sucre qu'à partir des taxes ponctionnées sur les récoltes des agents récoltants. A l'initialisation, 20% des agents créés sont de la catégorie des rentiers. La taxe est modulable via l'interface du modèle grâce au paramètre **Taxe**.

Le switch **Avec-changement-Rôle**, active un mécanisme qui autorise les agents à passer d'un rôle comportemental (rentier ou récoltant) à l'autre. Il est ainsi possible pour un agent de passer du rôle de récoltant à celui de rentier lorsque la provision personnelle dépasse les 45 sucres. Inversement, un rentier prendra le rôle de récoltant lorsque sa provision personnelle passera en dessous des 15 sucres.

Les agents naissent et meurent. Quelle que soit leur catégorie, la plupart des agents (80% d'entre eux) peuvent se reproduire s'ils ont dépassé le seuil de reproduction (fixé à 40 sucres). Se reproduire leur coûte une énergie de 5 sucres redistribuée à son descendant.

Afin de tester et évaluer la capacité de résilience du système, nous avons introduit un mécanisme de catastrophe qui perturbe le fonctionnement du système. La catastrophe peut être d'ampleur faible, moyenne, forte ou très forte (cataclysmes). Lorsqu'une catastrophe est déclenchée, grâce à un bouton de l'interface, tout le paysage de sucre est détruit, il ne reste donc plus de sucre à récolter. De plus, le sucre ne recommence à pousser qu'au bout d'un nombre d'itérations déterminé, de 8 pour les catastrophes de faible ampleur à 60 pour les cataclysmes. Les agents sont alors obligés de survivre à partir de leur réserve de sucre constituée précédemment.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

Les enjeux de l'exploration du modèle Sugarscape-Résilience pour l'illustration de la notion de résilience

Le mécanisme de catastrophe permet d'imposer un choc au système, de perturber son équilibre, et ainsi d'observer sa réaction. Le système est-il capable de retrouver un équilibre proche de l'équilibre avant la catastrophe (même population d'agents, même proportion de types d'agents, même formes de répartition de la richesse) ? De trouver un nouvel équilibre ? Ou au contraire de s'effondrer (disparition totale des agents) ? Au bout de combien d'itérations ?


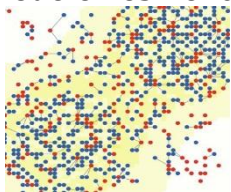
Comment définir le potentiel de notre système et le seuil par-delà lequel le système est résilient ou non ? Est-ce la richesse présente dans le système ? Sa répartition au sein de la population ?

Les réactions du système à la suite d'une catastrophe sont-elles dépendantes de la capacité adaptative des populations, c'est-à-dire la capacité des agents à changer de stratégie comportementale ?

C.Fonctionnement du modèle

Ce modèle a trois paramètres d'entrée principaux : la taxe permet d'appréhender le degré de dépendance entre les rentiers et les récoltants et de tester la viabilité du système. Le switch **Avec-changement-Rôle ?** permet aux agents d'adopter une stratégie de résilience et de mieux résister aux catastrophes. Enfin, il est possible de tester le degré de résistance du système en lançant des chocs ou catastrophes plus ou moins fortes.

En fonction de ces trois paramètres, on observe une résilience plus ou moins forte du système, qui peut soit s'effondrer, soit trouver de nouveaux équilibres.


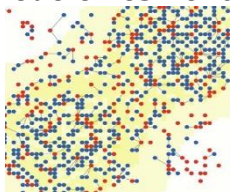
Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

D. Exploration du modèle

Les exercices suivants illustrent les principaux aspects conceptuels relatifs à la notion de résilience et explorent les mécanismes du modèle.

Propriétés de la résilience	Mécanisme du modèle	Exercice
Définition de l'état du système	Les indicateurs : <ul style="list-style-type: none"> - population globale, - sa répartition en % (rentiers/récoltants), - indice de Gini (degré d'inégalité de la distribution de la richesse variant de 0 à 1. 0 signifie l'égalité parfaite ; 1 signifie l'inégalité totale. L'indice de Gini se calcul à partir de la courbe de Lorenz), - richesse moyenne des rentiers, - richesse moyenne des récoltants. 	Exercice 1
Viabilité du système	Taille de la population et sa répartition	Exercice 2
Rigidité du système	Variation de la taxe	Exercice 3
Capacité d'adaptation du système	Comportement adaptatif (Avec-Changement-Rôle ?)	Exercice 4

Les exercices 5a et 5b proposent d'aller plus loin dans la notion de résilience et de parcourir le code informatique et de modifier un de ses paramètres.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

Exercice 1 : Prise en main du modèle

Paramétrage : Sans changement de rôle et sans catastrophe

A faire : Faire varier la taxe de 0,05 à 0,20 et noter l'état du système après qu'il se soit stabilisé (au bout par exemple de 2000 itérations) dans le tableau suivant :


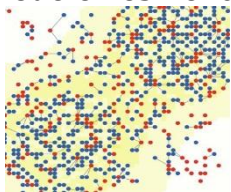
Taxe	0,05	0,10	0,20
Gini			
Population totale			
% rentiers			
% récoltants			
Provision moyenne rentiers			
Provision moyenne récoltants			

Résultats et analyse :

Vous constatez que, pour une taxe inférieure à 0,30 les rentiers sont dépendants des récoltants et que les récoltants sont dépendants de la ressource. Lorsque la taxe augmente, vous constatez que :

- le système est de plus en plus inégalitaire (indice de Gini) ;
- il y a de plus en plus de rentiers ;
- les rentiers sont de plus en plus riches en sucre ;
- la provision moyenne des récoltants stagne mais à un niveau très bas : ces récoltants, nombreux et donc en concurrence pour se partager la ressource disponible, sont fragiles et le système peu résilient (ce que vous pourrez vérifier avec l'exercice suivant).

Une taxe de 30% ou plus est trop forte et rend le système non viable, puisque le récoltant épuise toutes ses réserves en métabolisme et en taxe et ne parvient pas à subsister. Si tous les récoltants meurent, les rentiers n'ont plus de moyens pour subsister et meurent à leur tour.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

Exercice 2 : Evaluer la viabilité du système

Paramétrage : Sans changement de rôle et sans catastrophe

A faire : Faire varier le taux de taxation (par exemple prendre cinq valeurs [0,05 ; 0,10 ; 0,20 ; 0,30 ; 0,40]) et constater ou non la viabilité du système.


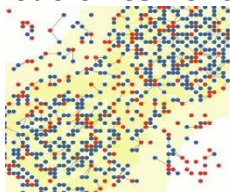
Résultats et analyse :

Deux états peuvent être constatés :

- système viable = les rouges et les bleus vivent.
- Système non viable (ou effondrement) = les rouges et les bleus meurent

Taxe	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
Observations	Système viable	Système viable	Système viable	Système plutôt viable (rares effondrements) avec parfois de nouveaux équilibres	Effondrement

Lorsque la taxe est inférieure à 0,30, le système est viable (c'est-à-dire qu'un équilibre stable perdure). Les bleus ne sont pas trop ponctionnés et les rouges perçoivent suffisamment de provisions pour subvenir à leurs besoins. Par contre une taxe élevée (0,40) accentue la dépendance entre les bleus et les rouges et les appauvrit. Dans ce cas, le récoltant épuise toutes ses réserves en sucre et finit par ne plus pouvoir subvenir à ses besoins, puis meurt. Si tous les récoltants meurent, les rentiers n'ont plus les moyens de subsister puisqu'ils ne reçoivent plus de taxe des bleus : ils meurent donc à leur tour et le système s'effondre (il n'est pas viable).

Collectif MAPS 	Modèle Résilience		Mai 2014
			MAPS 3
			http://maps.hypotheses.org

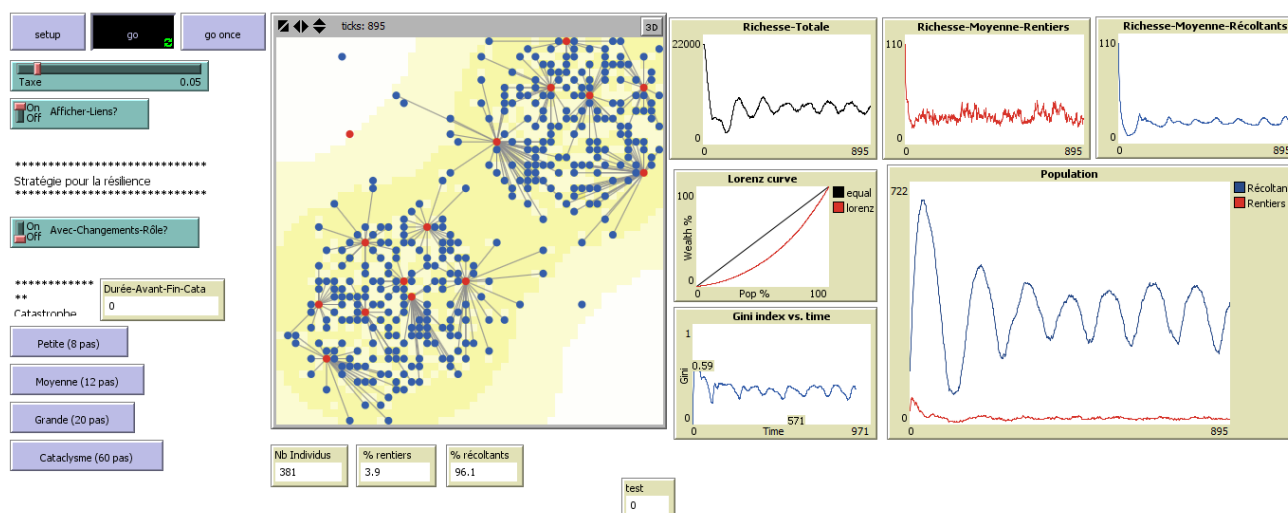


Figure 1. Le système est viable à 0.05

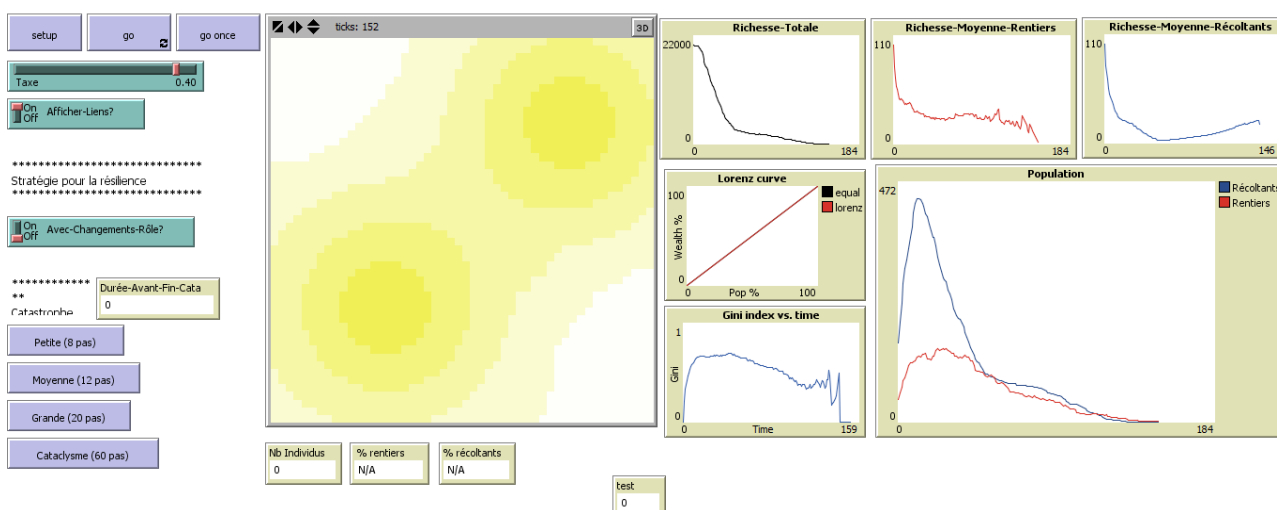

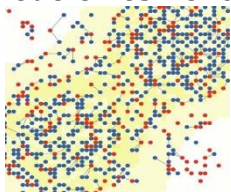


Figure 2. Le système s'effondre à 0.40

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

Exercice 3 : Evaluer l'effet de la rigidité du système (taxe) sur sa résilience

Paramétrage : Sans changement de rôle, avec catastrophe


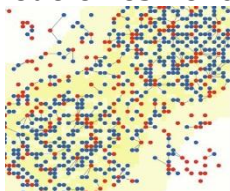
A faire : Faire varier le taux de taxation (par exemple prendre trois valeurs [0,05 ; 0,10 ; 0,30]), attendre que le système se stabilise et lancer une petite catastrophe. Faire ensuite la même opération avec une moyenne catastrophe, et enfin avec une grande. Pour chaque cas, examiner l'équilibre obtenu après la catastrophe et interpréter le par rapport à la notion de résilience.

Résultats et analyse :

Trois types de réponse du système suite à une catastrophe peuvent être observés :

- Système résilient = les rouges et les bleus survivent et on retrouve l'équilibre d'avant la catastrophe
- Nouvel équilibre = les rouges meurent et il ne reste que des bleus.
- Effondrement = les rouges et les bleus meurent

Taxe	0,05	0,10	0,20	0,30
Petite catastrophe	Résilient	Résilient	Résilient (nouveaux équilibres à partir de 0,28)	Résultats variables : surtout des nouveaux équilibres, quelques effondrements, quelques cas de résilience.
Moyenne catastrophe	Résilient	Résilient	Résilient	Effondrement fréquents alternant avec des nouveaux équilibres.
Grande catastrophe	Effondrements fréquents avec des cas d'obtention d'un nouvel équilibre.	Effondrements très fréquents, et quelques cas d'obtention d'un nouvel équilibre.	Effondrements	Effondrements – quelques rares nouveaux équilibres

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

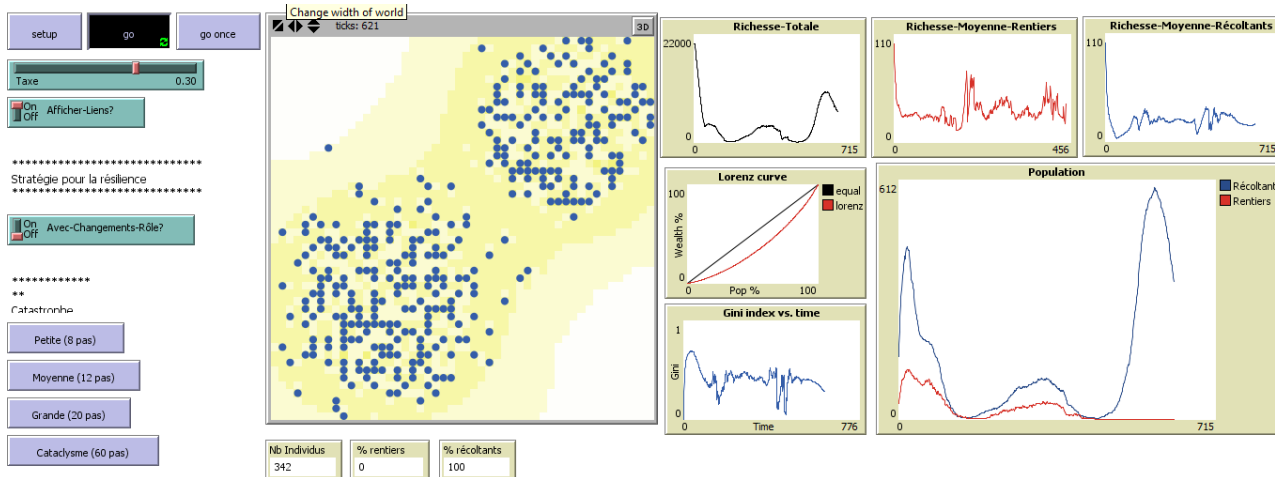


Figure 3. Un nouvel équilibre apparaît après une catastrophe moyenne (taxe à 0.30)


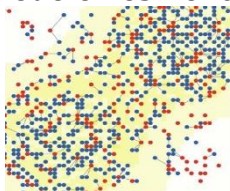
Vous constatez que plus la taxe est élevée, plus le système est sensible à une catastrophe et est susceptible de s'effondrer.

L'augmentation du taux de taxation accroît la dépendance des bleus envers les rouges. Les résultats de cette expérience peuvent illustrer le concept de **rigidité** du système. Plus il y a de taxe, plus la dépendance entre les rouges et les bleus est forte : le système devient plus contraignant, plus rigide et moins résilient.

Exercice 4 : Evaluer la capacité d'adaptation des individus via la stratégie du changement de rôle

Paramétrage : Avec changement de rôle et avec catastrophe

A faire : Faire varier le taux de taxation (par exemple prendre quatre valeurs [0,05 ; 0,01 ; 0,2 ; 0,3]), attendre que le système se stabilise et lancer une petite, une moyenne et une grande catastrophe, puis un cataclysme. Pour chaque cas, examiner l'équilibre obtenu après la catastrophe et interpréter le par rapport à la notion de résilience.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience		Mai 2014
			MAPS 3
			http://maps.hypotheses.org

Résultats et analyse :

Taxe	0.05	0.10	0.20
Petite catastrophe	Résilient	Résilient	Résilient
Moyenne catastrophe	Résilient	Résilient	Résilient
Grande catastrophe (durée 20)	Résilient malgré quelques cas d'effondrement	Résilient	Résilient
Très grande catastrophe (durée 40)	Effondrements avec quelques cas de résilience	Résilient avec quelques cas d'effondrements	Résilient
Cataclysme (durée 60)	Effondrement	Effondrement	Effondrement et quelques cas de résilience.

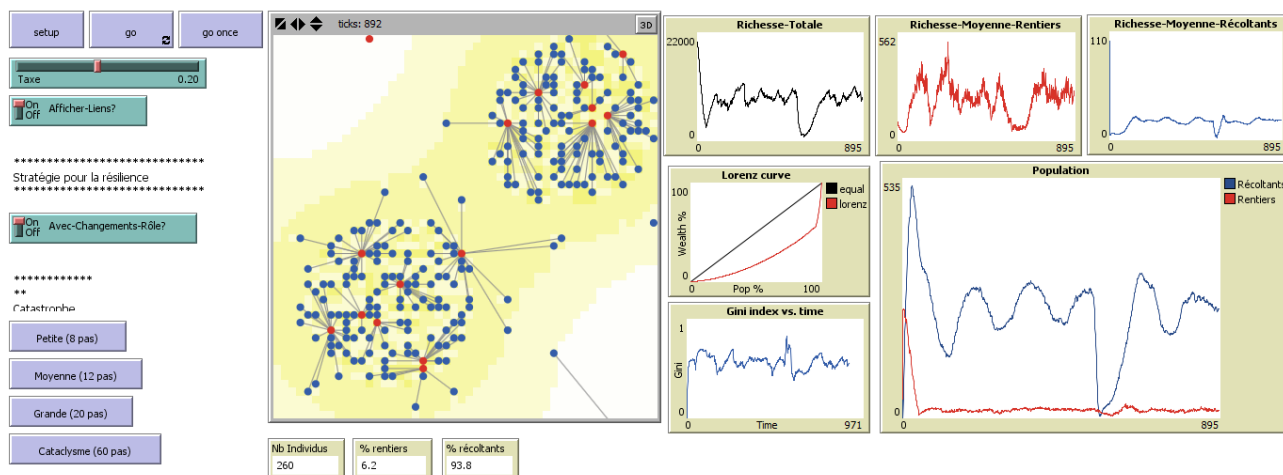

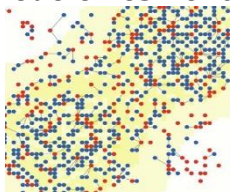


Figure 4. Même avec une grande catastrophe et grâce à la stratégie du changement de rôle, le système est résilient

Si vous comparez le comportement du système avec et sans changement de rôle, vous constatez que le système est beaucoup plus résilient lorsque cette stratégie de changement de rôle est adoptée.

Dans ce cas, le système ne s'effondre plus même s'il subit des catastrophes petites, moyennes ou très rarement s'il subit de grandes catastrophes.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

Le système n'est cependant pas assez résilient pour résister à des catastrophes de très grande ampleur, de type cataclysme. Le seuil de 40 (catastrophe qualifiée de « très grande ») est le seuil maximal que peut supporter le système.

Ainsi, la capacité d'adaptation individuelle qui consiste, dans certaines conditions, à changer de rôle (du rentier au récoltant ou l'inverse) accroît fortement la résilience du système, jusqu'à un seuil correspondant à une très grande catastrophe.

Exercice 5a : Pour aller plus loin sur la notion de résilience : définir le potentiel du système

A faire : En manipulant le modèle et en s'appuyant sur les indicateurs disponibles sur l'interface, quelles sont les états du système et les indicateurs *micro* et *macro* qui permettent de prédire si le système est résilient ou pas ?

Exercice 5b : Pour aller plus loin dans la programmation : découvrir le code informatique du modèle et modifier ses paramètres.


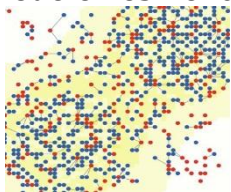
Le code de ce modèle est accessible lorsque vous cliquez sur le troisième onglet « code ». Il est composé de procédures dont la liste s'affiche à partir de l'onglet « procédures ».

A faire : Changer la taille initiale de la population, initialement fixée à 200.

Solution : Aller dans la procédure d'initialisation du modèle appelée « setup » et changer la valeur de la variable initial-population. Vous pouvez alors relancer une simulation dont vous constatez qu'elle prend en compte cette nouvelle valeur.

A faire : Changer la forme (représentation graphique) des récoltants et des rentiers.

Solution : Aller dans la procédure « turtle-setup » et changer la valeur de la variable shape en "person". L'ensemble des formes possibles et leur nom sont disponibles dans le menu Tools\Turtle Shapes Editor.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

E. Conclusion

Une visualisation simple et efficace de la notion de résilience

Le modèle permet de visualiser la notion de résilience. Dans le cas d'un système résilient, après une catastrophe, on voit le système repartir, des agents des deux catégories de plus en plus nombreux, jusqu'à une stabilisation de la population globale et par catégorie, traduction d'un nouvel équilibre stable.

A l'inverse, l'interface permet aussi de visualiser des cas de non-résilience et d'effondrement : les agents disparaissent de la grille et le système s'arrête.


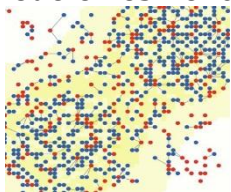
Des paramètres d'entrée peu nombreux et simples à appréhender

Trois paramètres seulement permettent de tester le modèle et le concept de résilience : la taxe, l'adaptation des individus, le niveau de catastrophe.

La taxe exprime la dépendance entre les deux groupes d'agents rentiers et récoltants. Les rentiers ne peuvent vivre que s'ils reçoivent la taxe que leur versent les récoltants, eux-mêmes fragilisés par le versement d'une taxe trop élevée.

Le modèle propose une stratégie d'adaptation des individus, simple à appréhender : il s'agit de la possibilité de changer de rôle/statut en fonction de sa « richesse » ; avec ce comportement adaptatif, il est aisé de constater que les cas d'effondrement sont beaucoup moins fréquents, sauf dans le cas d'une très grande catastrophe.

Le modèle propose enfin un paramétrage du niveau de la catastrophe (faible, moyenne, forte,...). Il permet de tester de manière simple le degré de « résistance » du système et donc de savoir s'il est peu, faiblement ou très résistant.

Collectif MAPS 	Modèle Résilience 	Mai 2014
		MAPS 3
		http://maps.hypotheses.org

F. Bibliographie

Epstein J. M. and Axtell R. 1996. "Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up", MIT Press.

Jansen M. 2011. [Resilience and adaptation in the governance of social-ecological systems](#), International Journal of the Commons, vol 5, n°11, 340-345

Holling C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual reviews of ecological systems, 4:1-23.

Holling C. S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. Ecosystems, 4:390-405.

Li, J. and Wilensky, U. 2009. NetLogo Sugarscape 3 [Wealth Distribution model](#). Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

Martin R. and Sunley P. 2006. Path dependence and regional economic evolution. Journal of economic geography, 6: 395-437.

Simmie J. and Martin R. 2010. The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach. Cambridge journal of regions, economy and society, 3:27-43.

Wilensky U. 1999. [NetLogo](#).. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, I.