

Rendu le 16/03/2018.

Chapitre 3

Paramétrier un modèle dans un contexte de co-construction interdisciplinaire

Version 2018-03-12

Le modèle, tel qu'il a été présenté dans le chapitre précédent, était un « état », c'est-à-dire que les mécanismes, paramètres et les valeurs de ceux-ci correspondent à une étape d'un modèle amené à évoluer pour répondre aux problèmes soulevés dans la dernière partie (Ref dernière section chap 2). Dans ce chapitre, nous nous attacherons à présenter le travail de paramétrage réalisé à la suite, ayant abouti à une version plus adaptée aux questions des thématiciens. Le descriptif technique de cette version « finale » se trouve dans l'annexe *n* (Ref à l'annexe contenant le descriptif technique de la dernière version du modèle.) Par paramétrage, nous entendons ici le processus visant à doter le modèle de paramètres (empiriques, « commensurables » et techniques (??)) lui permettant de mieux répondre aux objectifs fixé en termes de comportements attendus ou d'objectifs quantitatifs. Nous nous attacherons dans un premier temps à expliciter et spécifier ce sens.

réfléchir à
formulation
pour essayer
de comprendre

3.1 Paramétrier ? Quoi et comment ?

- 3.1.1 Différents points de vue sur la définition d'un paramètre
- 3.1.2 Les paramètres dans les modèles agents
- 3.1.3 Le paramétrage, un processus d'amélioration du modèle.
- 3.1.4 Qu'est-ce que le(s) paramétrage(s) ?
- 3.1.5 Comment paramétrier ?

3.2 Évaluer le modèle SimFeodal

Le modèle SimFeodal présenté dans le chapitre 2 correspond à une « version 0 » du modèle souhaité, c'est-à-dire qu'il en constitue une première pré-version – implémentant l'ensemble des mécanismes décidés dans le modèle conceptuel qui n'est pas encore stabilisée dans les liens, interactions et valeurs de paramètres de ceux-ci. Il ne répond donc pas nécessairement aux attentes que l'on peut en avoir. Si l'on a déjà mentionné des objectifs dans le chapitre précédent (ref. à ce passage dans, par ex. tableau, dans cp. 2), il convient ici de formaliser et d'expliquer le sens de ces attentes. En effet, celles-ci sont hétérogènes, aussi bien dans leur forme que dans l'importance qui leur est accordée, et la description de leurs caractéristiques se révèle importante pour leur mobilisation dans le cadre du paramétrage – et de l'ensemble des étapes de la vie d'un modèle – de SimFeodal. Dans cette partie, on explicitera donc d'abord le sens que l'on prête à ces attentes, sous la forme d'indices empiriques et d'indicateurs de sortie de simulation. On présentera alors les méthodes visant à réduire la complexité de ces indicateurs de sortie, proches de ce que se fait en statistiques : réduction de dimensionnalité et/ou catégorisation et hiérarchisation de ces indicateurs. En mobilisant les méthodes choisies, on pourra décrire et qualifier le comportement du modèle SimFeodal tel qu'il a été décrit, dans sa version 0, dans le chapitre précédent (ref à chap 2).

3.2.1 Indices et indicateurs

On attend d'un modèle, sans entrer encore dans le détail, qu'il reproduise au moins les grands traits de l'élément empirique qu'il cherche à simplifier. Ces grands traits peuvent s'entendre de multiples manières, et se formaliser avec encore plus d'approches. Ici, nous avons souhaité proposer une dichotomie simple entre le domaine de l'empirique et celui de la simulation, en forçant et systématisant l'usage d'un vocabulaire qui est souvent employé de manière plurielle. Pour être en mesure d'évaluer la vraisemblance du comportement empirique reproduit par le modèle, il est nécessaire de s'appuyer sur des éléments empiriques ayant une correspondance dans le modèle de simulation. Nous caractérisons ces éléments en deux grands ensembles : (1) **les indices empiriques**, éléments quantifiables ou au moins descriptibles du domaine empirique, et (2) **les indicateurs de sortie**, variables informatiques produites par le modèle de simulation et devant pouvoir être comparés à chacun des indices empiriques. La figure 3.1 reprend, sous forme de schéma ontologique synthétique, ces ensembles, explicitant le vocabulaire mobilisé dans cette partie.

Indices
du modèle Indicateurs
de la simulation

2 phases
 "attente" explicité
 + hard?
 dire d'abord
 qu'il soit
 compliqué?
 ensuite élaboration /
 mesurer, mesurer
 de venir vs.
 être
 dont il cherche à
 rendre compte
 (expliquer, comprendre)
 inverser l'ordre!
 Dans le monde de
 la simulation, tu
 fais ce effet sur
 ce que tu veux!

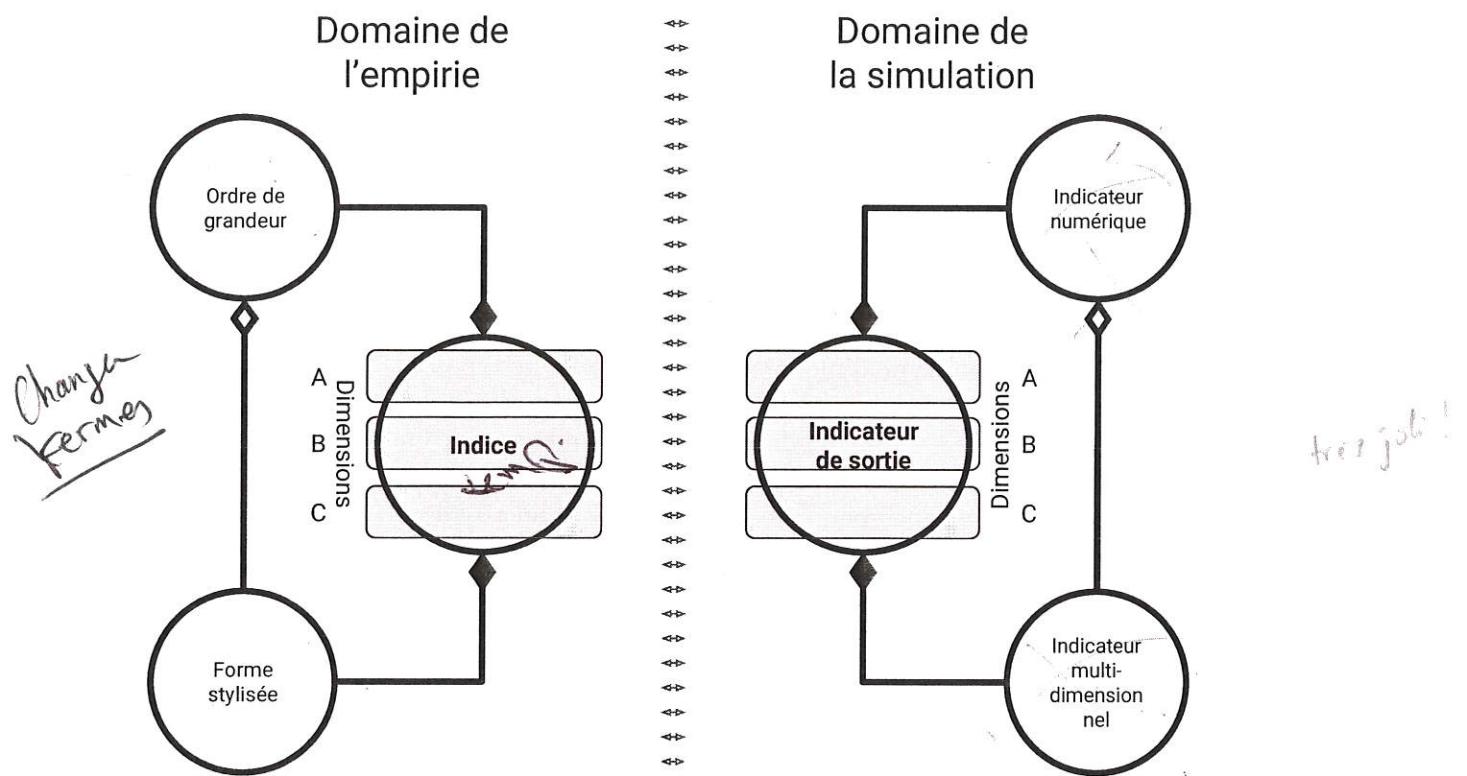


FIGURE 3.1 – Schéma de synthèse des correspondances entre empirie et simulation pour l'évaluation du modèle SimFeodal.

La correspondance des éléments est représentée par une symétrie axiale. Les losanges pleins désignent une relation de composition : un indice est soit un ordre de grandeur, soit une forme stylisée. Les losanges vides indiquent une relation d'agrégation : une forme stylisée est une agrégation d'ordres de grandeurs. Les dimensions (A à C) regroupent des indices (et les indicateurs qui leur correspondent) qui peuvent être de plusieurs types, et sont elles aussi comparables et en correspondance entre les domaines.

3.2.1.1 Les indices empiriques

Le domaine empirique, pour pouvoir être modélisé, doit être en mesure de proposer des « points de repère » sur lesquels le modèle s'appuiera. Ces éléments sont tirés de la thématique des dynamiques que l'on cherche à reproduire. Selon les modèles, ils peuvent revêtir de multiples formes et caractériser l'ensemble des échelles spatiales et temporelles que l'on choisit de mettre en scène dans le modèle. Leur point commun est qu'ils doivent pouvoir être mesurés, au sens le plus large, c'est-à-dire être en capacité d'être reproduits et comparables avec d'autres mesures. Dans cette étude, on a décidé de regrouper ces **indices empiriques** en deux catégories, basées la précision avec laquelle ils peuvent être décrits¹. La figure 3.1 montre cette catégorisation entre la première catégorie – les ordres de grandeur – et la seconde – les formes stylisées –.

Ordres de grandeur La première catégorie est constituée d'**ordres de grandeurs empiriques estimés** – avec une précision plus ou moins importante (cf. tableau 3 p. 317 du chap. TMD, à reproduire dans chap 2). Certaines valeurs empiriques sont ainsi connues, que ce soit d'après des sources primaires ou secondaires, et peuvent ainsi constituer des indices. Par exemple, on connaît avec

1. Et non sur la précision de leur connaissance, cf. section 3.2.2.1

quasi-certitude le nombre d'églises paroissiales de la région Touraine en 1100. Certaines de ces valeurs sont toutefois plus proches de l'estimation, comme le taux de foyers paysans isolés en fin de période, que l'on ne peut qu'estimer à partir de sources secondaires et en menant des extrapolations. Ces différents indices observés ou estimés peuvent cependant tous trouver une correspondance presque exacte (cf. section 3.2.1.2) dans le modèle de simulation, et dès lors, mener à comparaison entre données observées/estimées et données simulées. Ils peuvent ainsi jouer le rôle d'éléments d'évaluation du comportement du modèle simulé.

) inversion
logique comme
+ haut

) Utiliser
économique.

*date ?
de levé
chouï ?*

Faits et formes stylisés Le second type d'indice est moins précis, ne reposant pas sur une valeur estimable, mais plutôt sur la connaissance experte d'un phénomène. Il s'agit des « **faits stylisés** »², plus tendanciels que les indicateurs. On fait un large usage de ces faits stylisés en économie, mais aussi en géographie, par exemple quand observe que les systèmes de peuplement tendent à se hiérarchiser. On peut quantifier cette observation en observant que la pente formée par leur courbe rang-taille tend vers 1 à mesure que le système évolue (Trouver ref, sans doute Pumain/Saint-Julien). De la même manière, le modèle de transition démographique d'Adolphe Landry est un fait stylisé, énoncé à partir de l'observation de nombreuses récurrences de l'évolution des populations d'un pays en fonction des taux de natalité et de mortalité. Ces exemples montrent qu'au sein des faits stylisés, on retrouve aussi une diversité quant à la précision de leurs énoncés : on peut quantifier précisément la courbe de la rang-taille et l'allure de son évolution dans le temps, alors que la courbe logistique de la transition démographique revêt un caractère plus théorique. Dans notre cas d'étude, les faits stylisés sur lesquels on s'appuiera dans la modélisation peuvent être des allures de courbes (par exemple l'évolution dans le temps d'un indicateur) ou encore des formes de répartition spatiale. On pourra dès lors parler de « **formes stylisées** », aussi bien temporelles – courbe logistique estimée pour la polarisation des foyers paysans –, spatiales – différence dans l'occupation de l'espace par les agrégats entre le début et la fin de la période –, que correspondant à une agrégation à l'échelle du système, comme dans l'observation des hiérarchies grâce aux courbes rangs-tailles. Notons que ces formes stylisées relèvent le plus souvent d'une agrégation d'ordres de grandeurs (comme figuré dans la figure 3.1) : l'évolution dans le temps de la population, par exemple, correspond à un vecteur d'ordres de grandeur, c'est-à-dire à une succession de mesures pour chaque date étudiée. Dans le cas d'une agrégation spatiale, par exemple quand on observe la hiérarchie du système de peuplement, il s'agit aussi d'une agrégation d'ordres de grandeurs : cette forme stylisée est constituée d'un ensemble d'ordres de grandeurs, les populations de chaque agrégat de population.

) pas facile -
instinct de manier
+ pedigree ?

) TB sur la fond
mais il faut
plus de
pedigree dans
l'expéri

3.2.1.2 Les indicateurs de sortie de simulation

Les ordres de grandeur et formes stylisées évoquées relèvent du domaine empirique. Afin de pouvoir les mobiliser, il est nécessaire de définir des **indicateurs**

2. Définis ainsi par (LIVET, PHAN et SANDERS 2014) : « Un "fait stylisé" est une présentation simplifiée (i.e. taux, ratio ou écart, structure spatiale) d'une régularité empirique sur l'observation de laquelle il y a un large accord. Le terme a été popularisé en économie par Nicholas Kaldor (1961). [Les] faits stylisés peuvent être construits de la manière suivante : 1) en partant du domaine empirique, on identifie des relations saillantes ; 2) on opère quelques simplifications qui permettent d'inclure formellement ces relations dans des modèles ; 3) une fois admis que ces simplifications ne faussent pas trop les choses, on érige ces relations à la fois simplificatrices et formalisables au rang de "faits stylisés", dont les concepts théoriques doivent rendre compte. »

en sortie dans le modèle de simulation, c'est-à-dire des variables informatiques que l'on enregistrera durant l'exécution du modèle et que l'on pourra ensuite comparer aux indices empiriques définis.

Définition Comme pour les indices empiriques qui sont leurs équivalents, on peut définir une typologie différenciant les indicateurs en sortie « numériques », en distinguant les formes numériques simples (des scalaires), et des indicateurs plus complexes, multidimensionnels, à même de permettre la confrontation du modèle de simulation avec les formes stylisées identifiées. Chaque indice empirique doit ainsi se voir correspondre, respectivement, un indicateur de sortie.

Correspondance entre indicateurs et indices Cette correspondance n'est pour autant pas une équivalence exacte. En effet, si certains indices empiriques peuvent trouver un équivalent strict – le nombre de châteaux connus à chaque date est strictement équivalent au nombre de châteaux produits par le modèle –, d'autres indices trouveront une correspondance plus faible.

Il peut s'agir de correspondances ayant trait aux mêmes éléments de bases, donc « convertibles » entre elles. Par exemple, on connaît à peu près les populations de la région étudiée au début et à la fin de la période. Pourtant, dans SimFeodal, on ne modélise pas les individus en tant que tels, mais des foyers paysans. Le nombre de foyers paysans simulé n'est pas directement comparable à la population estimée, mais en estimant une moyenne de 4 ou 5 habitants par foyer paysan, ces quantités deviennent équivalentes.

Il est possible d'en déduire un nb. d'hab.
D'autres indicateurs trouveront une correspondance plus lointaine. Certains indices empiriques ne sont ainsi pas observables directement, et il faut alors leur trouver des indicateurs analogues, que l'on nomme souvent « proxy » dans le champ statistique. Dans notre cas d'étude, il s'agit le plus souvent d'indices plus difficilement quantifiables. La puissance militaire des seigneurs, par exemple, est complexe à quantifier. On sait d'après connaissances expertes que la hiérarchie des puissances était forte, majoritairement dominée par deux seigneurs (les comtes de Tours et de Blois) et assortie d'une grande quantité de petits chevaliers. On sait de plus qu'avec les liens de vassalité, les grands seigneurs disposaient des forces militaires des seigneurs qui leur étaient assujettis. Faute à une capacité de quantification plus importante de ces indices, on leur associe, dans le modèle, un indicateur proxy relevant du nombre de foyers paysans s'acquittant de droits à chaque seigneur. De cette manière, on reproduit une hiérarchie implicite entre les seigneurs et leur puissance relative, qui est, elle, comparable aux connaissances empiriques de ces rapports de puissance.

La création d'indicateurs de sortie correspondant aux indices empiriques permet donc de quantifier une information qui n'est pas forcément aisément quantifiable dans le domaine empirique.

Indicateur composite La forme numérique (scalaire ou vectorielle) des indicateurs de sortie permet de trouver des manières plus simples d'évaluer le modèle que d'observer l'ensemble des indicateurs. Chaque indicateur étant numérique, il devient en effet possible de les combiner au sein d'indicateurs composites, résultant en quelques indicateurs synthétiques permettant une évaluation plus rapide des résultats d'une simulation. Ces indicateurs composites sont très fréquemment utilisés en statistiques, permettant par exemple de résumer une information multidimensionnelle en un indicateur simple. L'Indice de Développement Humain (IDH), par exemple, est un indicateur composite dépendant de l'espérance de vie à la naissance, du niveau d'éducation et du niveau de revenu de chacun des

) rap: he

) inverser ie aussi

nb. d'hab.

il s'agit
de 2 types
de "proxy"
différents.
Séparer et
expliquer.

Attention - le proxy
concerne le domaine
empirique !

la fin de l'phase
comprend le résultat

pas en un instant

pays caractérisés. On le trouve très souvent utilisé, parce qu'il permet de résumer le niveau de développement d'un pays en agrégeant trois dimensions majeures, l'aspect sanitaire, culturel et économique. *De la manière —*

*a rendre +
plus facile*

Indicateur synthétique En renforçant cette logique de synthèse de plusieurs dimensions, on peut aller plus loin dans la définition d'un unique indicateur, synthétique, permettant d'évaluer la qualité de représentation d'un modèle. Là aussi, c'est une pratique très fréquente, qui plus est dans le domaine de la simulation informatique en particulier sur des modèles de type « KISS » (ref. à chap 2 là où ce sera abordé). Il s'agit alors de définir une « fonction objectif », ou « fonction de fitness », composée d'une pondération des quelques indicateurs composites qui auront été identifiés. Être en mesure d'évaluer un modèle à l'aide d'un unique indicateur a des avantages majeurs en pratique, puisque cela permet par exemple d'explorer et de paramétriser un modèle de simulation de manière entièrement automatique (trouver refs dans JASSS, dans Rey ou Schmitt) puisqu'on peut alors générer une cartographie simple des résultats du modèle en fonction des valeurs de paramètres utilisés.

Ces indicateurs composites et synthétiques résultent d'une quantification des autres indicateurs (excluant donc les formes stylisées qui sont plus libres d'interprétation), et apportent un grand confort dans le paramétrage d'un modèle de simulation.

Quels types d'indicateurs pour SimFeodal ? SimFeodal n'est pourtant pas adapté à de tels indicateurs : une large partie des faits stylisés et ordres de grandeur mobilisés proviennent de connaissances expertes, et les thématiciens qui les ont consolidées rechignent à créer de tels indicateurs composites, en ce que cela demande de pondérer précisément l'importance de chacun des indicateurs par rapport aux autres. Pour pouvoir pondérer cette importance, il faudrait de plus que les différents indicateurs mobilisés présentent le même niveau de certitude et de variabilité dans leurs résultats, ce qui est peu le cas des indices empiriques – et donc des indicateurs de sortie – choisis dans le cadre du modèle SimFeodal.

*que tu dis !
reformule*

On aurait ainsi pu créer quelques indicateurs synthétiques, mais ceux-ci ne prendraient en compte qu'une faible proportion du comportement attendu du modèle, résultant en une forte perte du pouvoir explicatif attendu du modèle. Par exemple, pour caractériser la polarisation du système de peuplement, il pourrait suffit de définir un indicateur composite fonction du niveau de concentration – le taux de foyers paysans dispersés –, du nombre de pôles et de l'espacement moyen entre les agrégats. Les valeurs de l'indicateur généré renseigneraient certes efficacement sur le succès ou l'échec d'un ensemble de valeurs de paramètres, mais cette information serait grossière, agrégeant dans le groupe des « simulations réussies » des configurations extrêmement diverses, et donc potentiellement très éloignés des connaissances empiriques : une information multivariée ne peut pas toujours être résumée de manière univariée.

*pas évident
sous sous-
et enfin pris -*

*On discute en
d'un
solutio...-*

On a donc fait le choix d'évaluer SimFeodal en conservant des indicateurs de sortie non composites. Ce choix implique toutefois un problème majeur dans l'analyse des sorties de simulation auquel la réduction de dimensionnalité est une réponse : il est plus simple d'analyser quelques indicateurs plutôt qu'un grand nombre d'entre eux.

*Relecture
arrêtée là.*

*mais non
composés donc ?*

3.2.2 Hiérarchiser et catégoriser les indicateurs

SimFeodal s'appuie sur une dizaine d'indicateurs numériques, ainsi que sur plus d'une trentaine d'indicateurs multidimensionnels. Tous ces indicateurs ne présentent pas le même degré de certitude, la même échelle d'observation, et surtout, le même niveau de précision sur les phénomènes modélisés. A chaque changement dans le modèle, pour une évaluation complète de la capacité de cette version à reproduire les indices empiriques, il faudrait donc observer et analyser chacun de ces nombreux et divers indicateurs. Dans le contexte du paramétrage d'un modèle s'appuyant sur une logique itérative et incrémentielle (voir encadré 3.1), on imagine bien que cela n'est pas possible : le nombre d'indicateurs est bien trop élevé pour avoir rapidement une vision globale de la qualité de représentation du modèle. Il faut dès lors, comme pour toute analyse synthétique, concevoir une hiérarchie d'observation et d'utilisation des indicateurs : il ne sera pas nécessaire d'analyser chacun des indicateurs dans la plupart des cas, seuls les indicateurs jugés plus importants pourront être analysés. Les indicateurs de moindre importance ne seront mobilisés que pour départager des situations dont la différence ne serait pas suffisamment explicitée par l'usage des indicateurs principaux.

3.2.2.1 Incertitude

Dans le modèle de simulation, les indicateurs de sortie sont à analyser en tenant compte de la précision des indices qu'ils représentent. Il ne faudra ainsi pas étudier la croissance du nombre d'agrégats au cours de la simulation de manière fine, par exemple en étudiant le coefficient directeur de la courbe, quand l'empirie ne donne quasiment aucune information à ce sujet si ce n'est qu'il y a bien plus d'agrégats en fin de période qu'au début. On peut vouloir quantifier la précision de ces données, par exemple à l'aide des méthodes développées dans le champ des observations floues et/ou incertaines (voir par exemple le travail de Cyril de Runz sur les données « imparfaites » (DE RUNZ 2008)). Cette quantification de l'incertitude pourrait alors servir de base à l'établissement d'une hiérarchie des indicateurs : on analyserait en premier lieu l'écart entre les ordres de grandeurs empiriques bien connus (cf. tableau du niveau de certitude des objectifs) et les indicateurs calculés sur les données simulées. Les ordres de grandeur plus incertains seraient analysés dans un second temps (augmentation de la charge fiscale entre 800 et 1100 par exemple), et les formes stylisées viendraient enfin clore cette hiérarchie d'indicateurs. Toutefois, SimFeodal se caractérise d'une part par une très forte hétérogénéité dans les niveaux de connaissance des ordres de grandeurs et faits stylisés modélisés, et d'autre part, se voulant un modèle théorique (A dire spécifiquement dans le chapitre 2 ; y faire une ref ici), il n'y a pas d'obligation de « coller aux données » à tout prix : la vraisemblance d'ensemble du modèle compte bien plus que la précision de chacune de ses composantes.

3.2.2.2 Catégoriser les indicateurs : définir des dimensions d'analyse

En présence de plus d'une quarantaine d'indicateurs, il est toutefois nécessaire, à minima, d'organiser leur analyse. On a vu qu'il n'était pas justifié de mener cet ordonnancement à partir des propriétés intrinsèques des indicateurs du modèle. Au contraire, et cela porte bien plus de sens vis à vis du rôle d'un modèle, la hiérarchisation des sorties du modèle doit suivre la hiérarchie implicite qui structure les hypothèses et objectifs du modèle en lui-même. Ces hypothèses et objectifs sont multiples dans SimFeodal, et dès lors, une hiérarchie globale ne

peut être définie. Il convient donc de catégoriser les indices empiriques – et les indicateurs de sortie de simulation leur correspondant –, avant d'organiser, au sein même de ces catégories, les indices les caractérisant. La hiérarchisation des indicateurs se fera donc relativement à chacune de ces catégories.

Dans le chapitre précédent (ref chap 2), nous présentions les principales dynamiques à reproduire avec le modèle SimFeodal : (1) polarisation, (2) hiérarchisation et (3) fixation des foyers paysans. En postulant que ces dynamiques sont caractéristiques du modèle, on peut s'appuyer sur cette triade pour caractériser les sorties du modèle, c'est-à-dire mener la confrontation entre indices empiriques et indicateurs de sortie. En reprenant ces catégories, que l'on nommera **dimensions** (voir figure 3.1), on va donc répartir chacun des indicateurs dans la dimension qu'il sera le mieux en mesure de décrire. Cette répartition n'a pas à être égale, chaque dimension pouvant s'appuyer sur un nombre différent d'indicateurs. De même, chaque dimension sera composée d'indicateurs dotés d'une qualité de représentation ou d'un niveau de certitude hétérogène. Le seul point commun des indicateurs de sortie de chaque dimension doit être thématique. Les trois dimensions choisies – polarisation, hiérarchisation et fixation –, et les indicateurs qui les caractérisent dans le modèle, sont dès lors considérés comme les trois dimensions d'analyse des sorties de SimFeodal.

3.2.2.3 Hiérarchiser les indicateurs dans chaque dimension

Chacune de ces dimensions s'applique à plusieurs types d'agents du modèle. Pour définir la hiérarchie interne aux dimensions, on retiendra les agents les plus impactés par les dynamiques correspondant à ces dimensions : la polarisation, par exemple, peut être observé depuis le point de vue de ce qui polarise (les attracteurs) tout autant que de ce qui est polarisé (les foyers paysans). On aura alors tendance à examiner d'abord un indicateur de sortie caractéristique monodimensionnel, caractéristique de la structure dans son ensemble à son état final. Les indicateurs de sortie représentatifs des dynamiques, par exemple les indicateurs multi-dimensionnels, ayant mené à cette structure finale, seront étudiés dans un second temps. Dans cet exemple, on analysera donc d'abord le résultat effectif de la polarisation, c'est-à-dire la concentration des foyers paysans en agrégats, avant d'observer la répartition et les diversité des attracteurs ayant entraîné ce phénomène. On peut dès lors définir des « indicateurs principaux » pour chaque dimension, représentatifs des grands traits des structures auxquelles on souhaite aboutir en sortie de simulation, et des « indicateurs secondaires », permettant d'affiner l'évaluation de chacune de ces dimensions.

3.2.2.4 Une hiérarchie mouvante

Notons que l'analyse des indicateurs de sortie suit une hiérarchie parfois mouvante, et en tous les cas, assez peu quantifiable : si l'ordre d'observation est plutôt stable, l'importance que l'on portera à chacun des indicateurs peut varier. Les indicateurs principaux de chaque dynamique sont ainsi « incontournables », c'est-à-dire qu'un résultat trop loin de celui des indices empiriques est disqualifiant. Parmi les indicateurs secondaires, il n'est pas toujours possible, d'après les connaissances des experts sur le sujet, d'établir une priorité ou une pondération de chaque indicateur. L'évaluation de la polarisation par exemple (page 10), se définit principalement par rapport à un indicateur principal – le taux de foyers paysans dispersés –, mais selon les résultats des autres indicateurs de sortie, on leur attribuera une importance variable. L'étude de la dispersion des agrégats et pôles peut ainsi se révéler plus importante que celle de l'évolution du nombre

d'agrégats selon les paramètres que l'on souhaite ajuster, ou se montrer tout au moins plus différenciante selon l'état du paramétrage.

Encadré 3.1 : Incrémentalité des indicateurs

De la même manière que les paramètres et mécanismes d'un modèle de simulation tendent à évoluer³ au cours du temps de la construction, souvent afin d'affiner un comportement observé, les indicateurs de sortie sont amenés à évoluer aussi.

Ainsi, en cas de modifications fines du modèle, il est fréquent que les indicateurs initialement choisis ne suffisent plus à départager des versions du modèle quant à un phénomène spécifique. Par exemple, quand on observe le phénomène de polarisation dans les sorties de SimFeodal, l'indicateur du nombre d'agrégats est extrêmement synthétique et informatif jusqu'à ce que l'objectif soit atteint ou que les modifications ne parviennent plus à le faire évoluer. À partir de ce moment, afin d'améliorer la vraisemblance de la situation simulée par le modèle, on peut se focaliser sur la distribution spatiale de ces agrégats, par exemple pour vérifier qu'ils sont bien répartis de manière homogène dans l'espace, et non trop concentrés.

L'observation de la répartition spatiale requiert certes de nouvelles analyses, mais surtout, par exemple, d'enregistrer les positions des agrégats au cours du temps. Si cet indicateur de sortie n'était pas utile avant cela, il n'y avait aucun intérêt à l'enregistrer. Il faut donc adapter l'implémentation du modèle pour générer, faire évoluer et enregistrer une nouvelle variable informatique correspondant à cet indicateur. Dès lors, on pourra composer un nouvel indicateur synthétique, qui, dans cet exemple, pourrait prendre la forme d'un indice de concentration spatiale).

Ce procédé incrémental dans la construction des indicateurs est très fréquent, mais pose toutefois un problème majeur : sauf à adapter chacune des anciennes versions du modèle implémenté pour y ajouter l'enregistrement des nouveaux indicateurs nécessaires, on ne pourra rendre strictement comparable les sorties de toutes les itérations du modèles informatique. Et même alors, il faudrait ré-exécuter des réplications de chaque version du modèle implementé à chaque ajout d'indicateur, quand bien même les indicateurs présent initialement étaient jugés suffisants. Un dernier obstacle est plus gênant : certains indicateurs sont spécifiques à des mécanismes, et en cas de changement de ces derniers, ils peuvent ne plus être calculables ou simplement comparables. Par exemple, des versions antérieures du modèle enregistraient les comportements individuels des foyers paysans quant à leur « choix » de déplacement, selon qu'ils étaient à l'origine localisés dans un agrégat ou dispersés. Une simplification du modèle a abouti à la modification des règles différenciant les possibilités de déplacement : on n'observe plus si le foyer paysan est dans un agrégat, mais plutôt s'il est dans un agrégat doté d'un pôle d'attraction. Dès lors, les analyses basées sur les choix de déplacement des foyers paysans selon leur origine ne sont plus comparables avec celles des versions antérieures au changement dans le modèle, quels que soient les détails d'implémentation de ce dernier.

Ces éléments expliquent que dans les résultats de chaque étape du paramétrage du modèle, on ne présente pas systématiquement l'ensemble des indicateurs, y compris quand ceux-ci pourraient être plus pertinents que les indicateurs présentés.

3.2.3 Les indicateurs et dimensions de SimFeodal

3.2.3.1 Évaluer la polarisation des foyers paysans

La polarisation des foyers paysans dans l'espace du modèle est sans doute le fait stylisé principal parmi ceux que l'on cherche à reproduire. Rappelons ici que l'on estime, à partir des connaissances d'experts, que les foyers paysans sont très majoritairement dispersés en 800, et concentrés au sein de villages et petites villes en 1100. Le modèle cherche à reproduire cette polarisation, par le biais d'une concentration des foyers paysans, initialement localisés aléatoirement dans l'espace mais n'en parsemant qu'une faible part, en des agrégats de foyers paysans répartis dans une plus large partie de l'espace modélisé.

Pour analyser la polarisation du système de peuplement, il est nécessaire de définir des indices permettant de caractériser ce phénomène. Ces indices doivent d'une part avoir une logique thématique, c'est-à-dire être appropriés à la description et à l'étude de la polarisation, mais doivent pouvoir être produits et enregistrés dans le modèle de simulation, formant des indicateurs.

Pour l'étude de la polarisation, il est nécessaire de faire appel à des indices hétérogènes, chacun devant être en mesure de décrire les différents aspects du phénomène de polarisation. En conséquence, on a choisi de faire appel à plusieurs indicateurs qui doivent permettre d'étudier aussi bien l'aspect structurel du système simulé en son état final que la forme et la tendance que prennent les changements qu'il subit.

L'indicateur principal est le taux de dispersion des foyers paysans. Si celui-ci est trop important (c'est-à-dire très supérieur aux valeurs estimées empiriquement), cela signifie que la polarisation générée par le modèle est insuffisante, et dès lors, obligatoirement insatisfaisante. A contrario, une valeur trop faible serait symptomatique d'un emballement des mécanismes simulés, figeant la situation dans une concentration absolue des foyers paysans, ne laissant dès lors plus de place à la diversification des situations locales et de la hiérarchisation d'ensemble.

Pour affiner ce constat, on fait appel à d'autres indicateurs : le nombre d'agrégats, de pôles, ou encore la dispersion spatiale de ces deux types d'entités. Ces indicateurs ne permettent pas, à eux seuls, de caractériser le succès de la dynamique de polarisation modélisée, mais ils aident à affiner l'analyse de cette dynamique telle que produite par le modèle de simulation. Ils éclairent ainsi le phénomène de polarisation sous des angles légèrement différents, ayant plus pour objet de diagnostiquer les problèmes potentiels qui mèneraient à une mauvaise polarisation plutôt que de qualifier celle-ci. Par exemple, la dispersion des agrégats et pôles peut renseigner, une fois le taux de foyers paysans dispersé jugé trop important, sur une des raisons probables de ce résultat non satisfaisant. Il s'agit donc d'indicateurs secondaires, permettant de préciser la capacité du modèle à reproduire les faits stylisés, alors que l'évaluation de cette capacité est surtout le rôle de l'indicateur principal.

Taux de foyers paysans dispersés Cet indicateur, et sa déclinaison temporelle, sont vraisemblablement les plus évidents : plus le taux de foyers paysans dispersés en fin de simulation est faible, plus le système de peuplement est polarisé. On a vu⁴ qu'empiriquement, autour de 1160, on observe environ 20% de foyers paysans encore dispersés, alors qu'ils sont près de 95% au départ. Le mo-

3. De manière incrémentielle et itérative, voir dans le chapitre x? et <http://itsadeliverything.com/revisiting-the-iterative-incremental-mona-lisa>

4. Ne pas oublier de présenter les objectifs dans chapitre 2. Ou alors, on les présente ici au fur et à mesure qu'on mentionne les indicateurs

3.3 Paramétrage de SimFeodal

- 3.3.1 Avant propos sur le paramétrage d'un modèle complexe
- 3.3.2 Les étapes du paramétrage de SimFeodal
- 3.3.3 Un bilan des changements majeurs à l'issu du paramétrage

3.4 Comment traiter les sorties du modèle ?

- 3.4.1 Variabilité
- 3.4.2 Nombre de sortie
- 3.4.3 Masse des sorties

