

# Modélisation et classification de patrons de l'équité pour la conception de systèmes d'information durables

## Modelling and Classification of Fairness Patterns for Designing Sustainable Information Systems

Christophe Ponsard<sup>1</sup>, Bérengère Nihoul<sup>1</sup>, Mounir Touzani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CETIC - Centre de recherche, Gosselies, Belgique, {christophe.ponsard, berengere.nihoul}@cetic.be

<sup>2</sup>Chercheur indépendant, Toulouse, France, mounir.touzani@inrae.fr

**RÉSUMÉ.** La conception de systèmes durables implique des interactions complexes entre les ressources environnementales, les impacts sociaux et les enjeux économiques. Dans un monde contraint, il s'agit d'aboutir à une conception équilibrée sur ces dimensions tout en veillant à éviter une série d'obstacles à l'adoption. Cet article aborde la problématique de la conception d'un système socio-technique équitable dans un domaine donné en identifiant les aspects systémiques ainsi que les responsabilités qui incombent aux systèmes d'information omniprésents. Dans ce contexte, le référentiel utilisé est un méta-modèle qui structure les concepts de valeur, hypothèse, réglementation, indicateur et activité. À partir d'un ensemble de cas publiés, différents patrons d'équité ont pu être identifiés et structurés en un catalogue permettant l'application de stratégies d'adoption, d'anticipation, de justice distributive et de transparence. Une extension du méta-modèle initial est également proposée pour identifier et raisonner sur les hypothèses ainsi que les barrières afin d'atteindre les valeurs souhaitées. Enfin, une validation du travail est discutée au moyen de plusieurs cas d'étude : la gestion de la crise sanitaire de la COVID-19 et le suivi médico-social de la petite enfance.

**ABSTRACT.** Designing sustainable systems involves complex interactions between environmental resources, social impacts, and economic issues. In a constrained world, the challenge is to achieve a balanced design across those dimensions while avoiding several barriers to adoption. This paper explores the concept of fairness in sociotechnical system design, including its information system component. It is based on a reference sustainability meta-model capturing the concepts of value, assumption, regulation, metric and task. Starting from a set of published cases, different fairness patterns were identified and structured in a library enabling the application of strategies for adoption, anticipation, distributive justice, and transparency. They were generalised and documented using an existing sustainability template. An extension to the initial meta-model is also proposed to identify and reason on assumptions and barriers to reach the desired values. Finally, the validation of our work is discussed using two case studies, respectively addressing the fairness to manage the COVID-19 crisis and the medico-social follow-up of childhood.

**MOTS-CLÉS.** Système durable, équité, patron de conception, méta-modèle de durabilité, étude de cas, COVID-19

**KEYWORDS.** Sustainable system, fairness, design pattern, sustainability meta-model, case study, COVID-19

### Introduction

La durabilité (ou soutenabilité) est un concept large et multidimensionnel. Le rapport Brundtland des Nations Unies cite : « le développement durable est un processus de changement dans lequel l'exploitation des ressources, la direction des investissements, l'orientation du développement technologique et les changements institutionnels sont tous en harmonie et renforcent le potentiel actuel et futur pour répondre aspirations et aux besoins humains » (United Nations 1987). Cette exploitation judicieuse des ressources actuelles et de l'avenir de toute l'humanité a un impact sur la façon dont nous devons concevoir nos systèmes. Les systèmes d'information et les logiciels sont également impliqués : ils sont à la fois à la source de problèmes à cause de leur empreinte environnementale mais contribuent aussi à la mise en place de solutions (Calero & Piattini 2015). Définir la durabilité d'un logiciel est tout aussi difficile et encore discuté, notamment sous l'angle d'exigences non-fonctionnelles et de propriétés émergentes (Venters et al. 2014).

La durabilité implique une notion d'équité dans le processus d'allocation des ressources entre les acteurs impliqués dans le système. Cela se reflète dans la citation de Mahatma Gandhi : « Il y en a assez pour les besoins de tout le monde, mais pas assez pour l'avidité de personne ». Cela signifie également de devoir imposer des contraintes dans la manière dont les systèmes sont conçus pour être équilibrés, sans nécessairement viser une égalité formelle pure qui n'est pas réalisable en pratique, mais pour atteindre un équilibre global basé sur une valeur fondamentale comme la solidarité. Par exemple, la personne en bonne santé aide le malade, les adultes prennent soin des jeunes et des aînés. Cet exemple de solidarité montre que tout le monde est susceptible de passer par ces différents rôles. Cette approche est également mise en avant par la justice sociale ou distributive (Rawls 1971)(Maiese 2013). Définir l'équité est tout aussi difficile que la durabilité parce que, selon les cultures, les interprétations de l'équité diffèrent. Chaque société a des notions claires de ce qui est juste ou injuste et produit des règles et des normes compréhensibles. Essentiellement, il semble juste que ceux qui « méritent » les choses les obtiennent et que ceux qui « ne les méritent pas » ne les reçoivent pas (Wallace 2016). Au delà de la notion d'égalité relativement à la possession de biens sociaux, les approches complémentaires prônent l'égalité des « capacités (de l'anglais capability ou capacité) », c'est-à-dire des possibilités effectives de réaliser certains actes (Sen 2009). Le terme de liberté substantielle est aussi utilisé pour cette notion.

Ce travail s'appuie sur la notion de système socio-technique (ou système dans la suite de ce travail). Un tel système résulte de la combinaison d'éléments techniques, humains ou naturels (SEBoK 2022). En effet, l'exigence de durabilité nécessite une analyse globale couvrant de manière non-isolée les composantes matérielles, logicielles, personnelles et communautaires afin de prendre en compte des éléments relatifs aux structures sociales, rôles et réglementations. Le système d'information (SI) fait partie intégrante du système considéré et comprend lui-même une composante technique (logiciel, matériel, réseau ainsi que les processus) et sociale (organisation et personnes liées au SI) (Piccoli 2012). Le système que nous considérons ici va cependant bien au-delà du SI sans quoi nous serions limités à des définitions très techniques de l'équité, par exemple, en termes de séquences infinies d'états devant toujours voir se réaliser une propriété énoncée après un temps « suffisamment » long (Francez 1986). Nous nous situons ici dans une perspective où il est impératif de saisir également les dimensions sociales, environnementales, économiques et personnelles (Penzstadler et al. 2014).

Dans ce contexte, notre objectif est de proposer une méthodologie outillée aidant à identifier et à gérer les exigences d'équité dans le cadre de systèmes socio-techniques et plus spécifiquement celles qui concernent le SI à mettre en place pour servir un système socio-technique équitable. L'approche suivie s'appuie sur l'élaboration d'une base de connaissances qui soit facilement structurable, réutilisable et mobilisable afin d'analyser et arbitrer des décisions sur l'organisation de systèmes concernant leurs propriétés souhaitées d'équité et s'inscrivant dans un cadre plus général de durabilité. Ces décisions concerneront des aspects globaux du système mais permettront aussi de dégager des exigences plus spécifiques à la mise en oeuvre d'un SI au service de ces propriétés. L'accent ne sera pas mis sur l'optimisation de la conception durable et équitable de la seule composante SI mais des exigences liées peuvent cependant découler des analyses réalisées. Notre travail s'articule autour d'une base conséquente de cas jugés intéressants du point de vue des exigences d'équité. Ceux-ci sont issus de nos propres recherches ou rapportés de la littérature par d'autres équipes actives sur cette thématique.

Cet article élabore notre travail initial (Ponsard et al. 2021). Celui-ci avait permis de montrer la faisabilité d'une approche basée sur la modélisation pour raisonner sur la problématique d'équité. Il avait

esquissé une première structuration sous forme de patrons et avait réalisé une validation limitée. La base de ce travail reste similaire et s'appuie sur un modèle de référence d'équité (Kienzle et al. 2020) pour définir un cadre de raisonnement basé sur un méta-modèle utilisable pour la durabilité. Aussi, elle continue à s'appuyer sur des représentations graphiques déjà en utilisation dans ce domaine (Penzenstadler & Femmer 2013). Ce travail étend nos résultats initiaux de la manière suivante :

- il comporte un état de l'art plus systématique et détaillé des référentiels utilisés.
- il s'appuie sur une base beaucoup plus large (doublée) de cas d'étude utilisés pour identifier et documenter nos patrons.
- nos patrons sont mieux structurés et présentés sous forme d'une librairie plus riche et plus détaillée tout en restant basés sur un modèle de patrons de durabilité (Roher & Richardson 2013).
- outre la gestion de la pandémie COVID19, une validation a été réalisée sur un système de suivi médical prénatal et de la petite enfance où de nombreuses questions d'équité d'accès aux soins sont présentes.
- une discussion plus large est réalisée notamment sur les possibilités et l'intérêt de généraliser la démarche à l'analyse de la durabilité, voire de proposer une autre vision sur la manière de raisonner sur les exigences non-fonctionnelles.

Le document est structuré comme suit : la section 1 propose un état de l'art et des pratiques permettant de disposer des fondements existants ainsi que des études de cas publiées sur lesquelles nous pourrions baser notre travail. La section 2 décrit l'approche méthodologique employée, y compris certaines extensions motivées des notations existantes et illustre aussi le processus de découverte de patrons sur un cas issu du domaine hospitalier. La section 3 présente la structure et une partie représentative de notre librairie de patrons d'équité. Dans la section 4, nous présentons nos cas de validation sur l'équité de la gestion de crise sanitaire de la COVID-19 ainsi qu'un système de suivi médical prénatal et de la petite enfance. La section 5 est une discussion à propos de notre catalogue et sa validation, en particulier sur des aspects de modélisation, de méthodologie, de complétude et de possibilité de généralisation. Enfin, nous terminons par une conclusion et l'identification de pistes de recherche.

## 1. Etat de l'art et des pratiques

L'introduction a déjà donné un aperçu sur les notions de durabilité et d'équité ainsi que la nécessité d'adopter un raisonnement systémique via le concept de système socio-technique pour les appréhender. Avant de décrire notre approche, cette section décrit l'état de l'art et des pratiques. Nous présentons d'abord quelques fondements théoriques. Ensuite, nous détaillons deux approches existantes utilisées de manière combinée et enrichie. Enfin, nous identifions des études de cas de la littérature qui ont alimenté notre démarche de structuration de la connaissance en matière de conception équitable. En dehors de la dernière section, le matériel présenté ici n'est pas spécifique à l'équité mais applicable à une démarche d'acquisition de la connaissance en matière de durabilité.

### 1.1. Fondations théoriques de la durabilité des systèmes socio-techniques

En prélude, rappelons quelques constats rapportés dans une revue systématique de la littérature réalisée sur une base de plus de 180 articles entre 1990 et 2020 relativement aux fondements des concepts de

durabilité et de changement dans les systèmes socio-techniques (Savaget et al. 2019). Celle-ci s'organise sur trois axes fondamentaux qui seront aussi des principes structurant pour la suite de nos travaux :

- Le **POURQUOI** (« WHY ») s'attache aux buts de durabilité par une approche socio-technique. Elle rejoint les arguments évoqués en introduction sur l'équilibre entre les diverses dimensions de performance économique, d'inclusion sociale (incluant l'équité) et de résilience environnementale. Le besoin de raisonner en termes de systèmes socio-techniques est aussi discuté à la lumière de tensions et de conséquences non anticipées liées à l'introduction de technologie, que cela soit en termes de génération d'inégalité ou de dégradation de l'environnement. Ceci met en évidence une notion de valeur plus concrète. L'innovation et l'aspiration au progrès sont aussi identifiées comme stimulus permettant de lever des barrières et de rendre des systèmes plus durables.
- le **QUOI** (« WHAT ») s'attache aux multiples interprétations de ce qui doit être rendu durable et développé. Il met en évidence la notion de connaissance, la nature sociale de sa construction, le large éventail des acteurs impliqués ainsi que la variété de composants amenés à co-évoluer ensemble. Il pointe aussi la portée limitée de la responsabilité et de la propriété des divers acteurs et les aspects dynamiques, incluant des boucles de rétro-actions positives ou négatives entre diverses chaînes d'activités.
- le **COMMENT** (« HOW ») met en évidence la diversité et la pluralité des approches possibles à la fois pour explorer et pour restreindre le champ des alternatives. Il peut s'agir d'activités incrémentales, à large échelle, avec une gouvernance à long-terme. L'aspect critique de la coopération ainsi que les situations « win-win » sont aussi identifiés.

## 1.2. *Capture de la connaissance au moyen de patrons de durabilité*

La constitution et la structuration d'une base de connaissances dans un domaine spécifique (ici l'équité) est un travail de longue haleine et de nature itérative. Une approche méthodique est celle des **patrons de conception (design patterns)** trouvant leurs racines dans le domaine architectural et utilisée avec succès pour des systèmes logiciels (Gamma et al. 1995). Elle consiste à mettre en relation des manières communes de résoudre des problèmes ayant certaines caractéristiques en identifiant et en analysant des pratiques récoltées sur le terrain afin de pouvoir les réutiliser de manière raisonnée.

- **Résumé** - Vue d'ensemble de l'intention, des principales dimensions et valeurs.
- **Applicabilité** - Contexte pour lequel le patron est approprié ou non.
- **Contenu** - Aspects à considérer pour une exigence dérivée de ce patron, à travers des attributs, capacités, caractéristiques ou qualités claires du système.
- **Archétype** - Description de patron exprimée de manière générique.
- **Exemples** - Instanciation typique, basée sur des cas d'étude qui ont servi à l'inspirer.
- **Discussion** - Explications plus détaillées et assistance pour la mise en oeuvre. Cette partie ne sera pas systématiquement développée dans cet article.
- **Patrons associés** - Interactions / combinaisons possibles avec d'autres patrons.

Notons qu'on peut reprocher à ces patrons de ne pas proposer une séparation claire entre les parties décrivant le problème et la solution. Le problème est couvert par la section *Résumé* (en particulier l'intention) et *Applicabilité* (contexte), tandis que le reste du patron est orienté sur la solution.

### 1.3. Structuration et raisonnement sur la connaissance via un méta-modèle de durabilité

Le mécanisme de patron dispose de quelques possibilités de structuration notamment via des classifications et des liens entre des patrons apparentés. Cependant celles-ci sont limitées par l'approche textuelle de la description en particulier au niveau de l'archétype. Ce dernier nécessite de référencer des notions importantes identifiées dans les fondements tels que les buts, les dimensions, les valeurs et les activités.

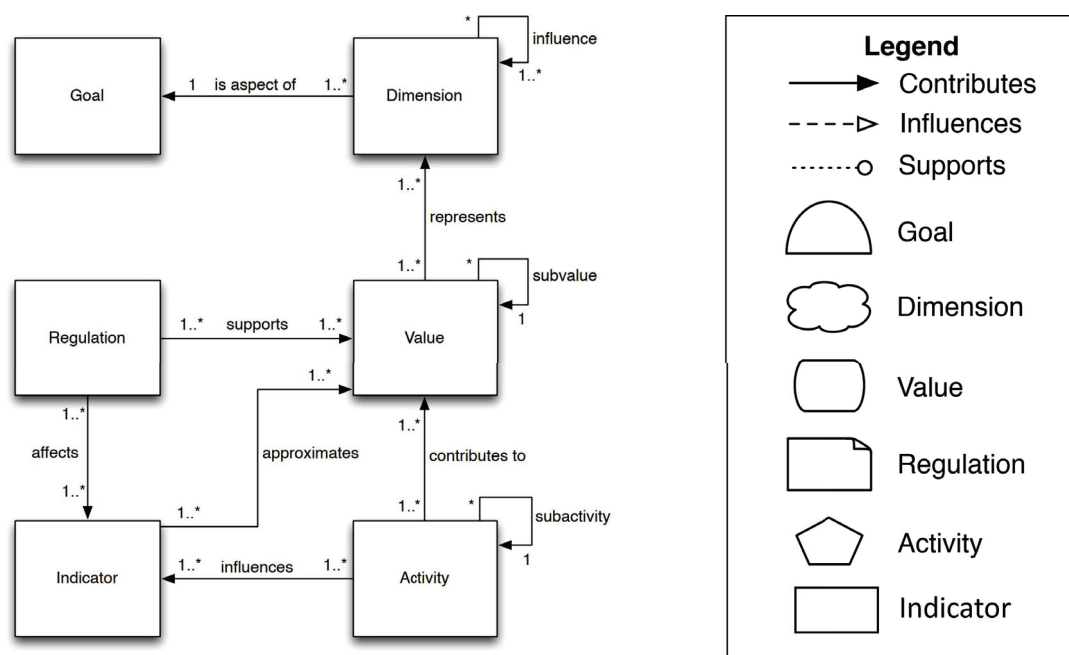
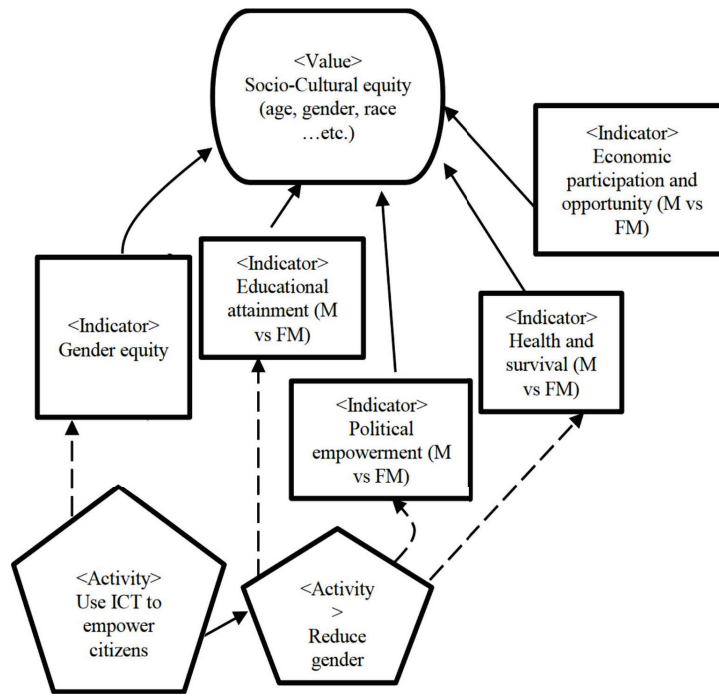


FIGURE 1. Méta-modèle de durabilité : sémantique (à droite) et syntaxe graphique (à gauche)

Afin de capturer précisément ces notions, un méta-modèle a été élaboré (Penzenstadler & Femmer 2012) (Penzenstadler & Femmer 2013). Celui-ci permet de décrire les différentes dimensions de la durabilité, des valeurs, des activités, de la réglementation et des métriques comme illustré à la figure 1. La partie de gauche de la figure décrit la structure sémantique des concepts et leurs associations au moyen d'un diagramme de classe UML tandis que la partie de droite en donne la syntaxe graphique. Le *But* (ou objectif) est une propriété de haut-niveau sur le système socio-technique considéré. La *Dimension* est un point de vue spécifique de durabilité qui peut-être de nature sociale, économique, technique ou personnelle. Elle est décomposée en un ensemble de *Valeurs* qui sont porteurs de sens pour la dimension concernée. Cette valeur est évaluée par des indicateurs et peut être décomposée hiérarchiquement en sous-valeurs. Un *Indicateur* est une métrique qualitative ou quantitative liée à une valeur. Une *Réglementation* est un élément externe qui affecte une valeur. Une *Activité* est un moyen opérationnel de réaliser ou d'influencer une valeur.

Ce référentiel a été utilisé dans plusieurs études de cas dont une qui concerne l'équité (Hinai & Chit-chyan 2015) et qui est reprise dans le tableau 1. La figure 2 illustre la décomposition d'une valeur d'équité socio-culturelle issue de ce travail. Ce type de fragment permet d'alimenter le processus d'identification de patrons.

Cette approche s'inscrit dans une démarche permettant d'appréhender la complexité des systèmes via une combinaison de modèles hétérogènes intégrant diverses dimensions économiques, sociales et environnementales, et ce, afin de permettre aux scientifiques et décideurs de travailler de concert (Kienzle et al. 2020). Celles-ci permettent une modélisation plus spécifique à la durabilité que des notations



**FIGURE 2.** Fragment relatif à une valeur d'équité socio-culturelle (Hinai & Chitchyan 2015)

génériques d'ingénierie des exigences (IE) telles que  $i^*$  (Yu & Mylopoulos 1997), KAOS (van Lamsweerde 2009) ou encore URN/GRL (ITU 2012). Ces dernières peuvent cependant être également utilisées même si elles sont plus générales : certaines seront reprises dans l'inventaire décrit ci-après. Des techniques permettant d'élaborer de tels modèles d'IE peuvent également être mises en oeuvre notamment pour en assurer la complétude ou la robustesse (van Lamsweerde 2009). Certaines seront détaillées dans le cadre de notre méthodologie présentée dans la section 2.

#### 1.4. Inventaire de cas d'études relatifs à l'équité

La démarche de peuplement et de structuration de la base de connaissances est une démarche progressive qui doit être alimentée par l'analyse de systèmes existants. A cette fin, nous avons répertorié et analysé de nombreuses études de cas ayant une dimension d'équité et qui ont été publiées dans la littérature. Parmi celles-ci, certaines sont directement liées à notre expérience en matière d'élucidation et de modélisation d'exigences d'équité. Tous ces cas sont caractérisés dans le tableau 1 en termes de domaines, de sujets traités, de dimensions de durabilité impliquées, de notations mises en oeuvre, d'une ou plusieurs références et des aspects intéressants identifiés.

L'analyse du tableau montre une couverture intéressante d'une série de domaines d'activités pour l'humain tels que l'habitat, les services, le transport et la logistique, la santé, la société de manière plus globale. Une classification standard n'a pas été utilisée ici car cela posait la question du référentiel à considérer et des biais éventuels (par exemple des référentiels d'activités purement économiques). Les différentes dimensions de durabilité sont couvertes généralement en combinaison avec une prédominance sociale qui n'est pas surprenante car elle est directement liée à l'équité. Notons qu'une analyse plus fine pourrait tenter de vérifier la présence de différents profils des personnes, par exemple pour assurer une couverture de catégorie d'âge et de genre. Un panel assez varié de notations a du être analysé : certaines sont proches du référentiel proposé (même méta-modèle ou notations orientées buts) tandis que d'autres s'appuient sur des notations conceptuelles plus spécifiques voire purement textuelles qui ont nécessité un

Id	Domaine	Sujet	Dimension(s)	Notations	Références	Questions
1	Habitat	Accessibilité physique	sociale économ.	KAOS	(Ponsard & Darimont 2017)	non-discrimination, bâtiments neufs ou anciens, disponibilité des informations
2	Habitat	Logement social	sociale économ.	métamodèle	(Jonkman 2020)	justice distributive, abordabilité
3	Primaire	Quota de pêche	environ. économ. sociale	textuelle	(Doering et al. 2016)	calcul de quotas équitables
4	Santé	Hôpital de jour (oncologie)	sociale économ.	KAOS	(Ponsard & Landtsheer 2018)	impact médical, éthique, gestion de la charge du personnel
5	Santé	Service de nuit	sociale économ.	textuelle	(Ponsard & Landtsheer 2018)	règles juridiques, profils de personnes, monde fermé, transparence
6	Santé	Suivi de la petite enfance	sociale	KAOS, BPMN	(Chitchyan et al. 2015)	lien entre opérationnel et stratégique, évolution, architecture d'entreprise
7	Services	Accessibilité	social	métriques	(Ponsard et al. 2020)	non-discrimination, visite réelle/virtuelle, COVID
8	Services	eCommerce	sociale économ.	GRL	(Pourshahid & Tran 2007)	confiance, honnêteté
9	Services	Prise de décision	économ.	conceptuel dynamique	(Mathies & Gudergeran 2011)	impact de l'équité dans le choix du consommateur
10	Services publics	Réforme de l'eau (Australie)	social environ. économ.	textuelle	(Syme & Nancarrow 2006)	justice distributive
11	Société	Egalité des genres	social	textuelle	(Burchardt 2008) (Sanders 2012) (Davenport & Low 2013)	modèle WFTO, utilisation du modèle des capacités comme moniteur
12	Société	Égalité	sociale	métamodèle	(Hinai & Chitchyan 2015)	genre, socio-culturel, égalité sociale
13	Société	Impôts	sociale économ.	textuelle	(Saad 2010)	juridique, compréhension
14	Transport Logistique	Approvisionnement	économ. social	conceptuel	(Fearne et al. 2012)	équité/transparence de la gouvernance, collaboration et accès aux ressources
15	Transport Logistique	Voitures partagées	social, environ. économ.	KAOS, BMC	(Chitchyan et al. 2015) (Ponsard et al. 2018)	partage client gratifiant, charge de chauffeurs, règles légales
16	Transport Logistique	Voitures/vélos partagés	social, environ. économ.	conceptuel	(Ma et al. 2018)	co-évolution, apport de l'innovation

**TABLEAU 1.** *Caractérisation des cas d'étude utilisés*

travail d'analyse un peu plus conséquent. Les différentes questions identifiées dans la dernière colonne ont mené à la découverte et à la documentation de patrons spécifiques décrits dans la suite de cet article.

## 2. Approche méthodologique proposée

La démarche suivie pour mettre en place une base de connaissances adaptée à l'analyse de l'équité de systèmes socio-techniques s'appuie sur un processus composé des quatre étapes suivantes qui sont détaillées dans le reste de cette section.

1. En préalable, nous avons défini un référentiel de modélisation largement basé sur l'état de l'art présenté à la section précédente en y apportant des extensions permettant une modélisation plus riche et plus modulaire. Une analyse plus ciblée de la composante SI est aussi mise en évidence.
2. Ensuite, il s'agit de réaliser un travail de découverte de patrons qui s'appuie sur l'analyse des différents cas d'étude, leur modélisation et l'identification de patrons récurrents afin de les capturer

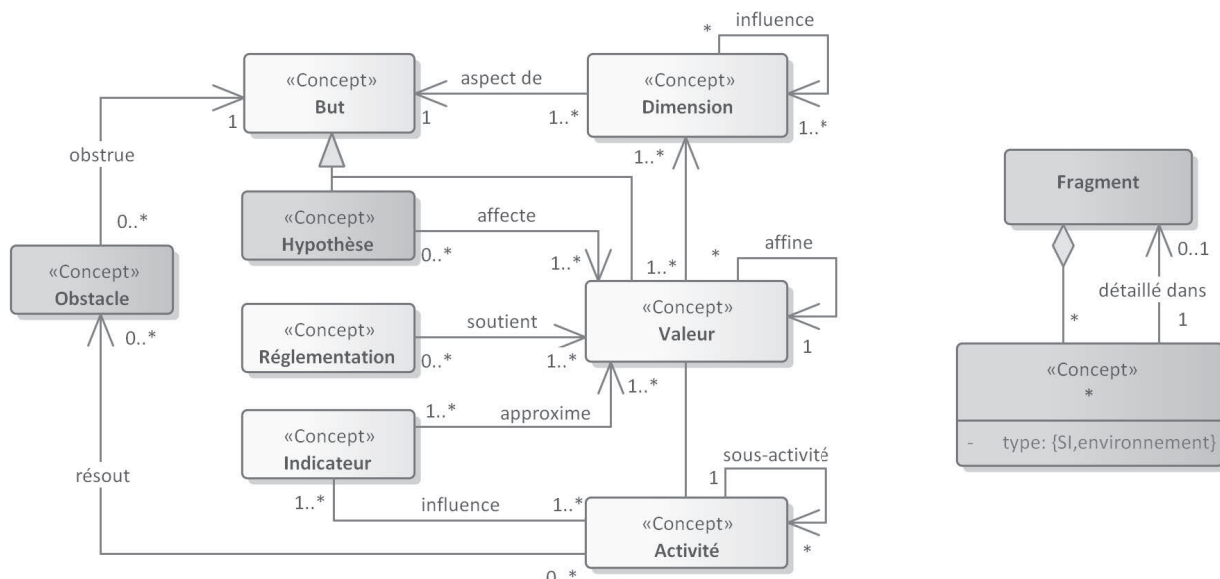
de manière réutilisable au moyen de notre référentiel. Pour illustrer cette démarche, une étude de cas plus spécifique sera analysée : l'équité d'itinéraires cliniques en oncologie (Ponsard & Landtsheer 2018).

3. Afin de permettre d'exploiter une bibliothèque qui s'étoffe, il s'agit aussi de proposer une structure adéquate. A cette fin un processus standard de gestion du changement est proposé.
4. Enfin, l'étape pour l'utilisateur est de comprendre comment exploiter les patrons disponibles dans la bibliothèque afin de les utiliser efficacement lors de sa démarche d'analyse d'un nouveau système socio-technique et de sa composante SI.

Notons que cette démarche est généralisable pour un éventail plus large de propriétés liées à la durabilité mais dans le cadre de ce travail, nous nous sommes attachés à la construction d'une base de connaissances restreinte à la propriété d'équité.

### 2.1. Extensions du méta-modèle de durabilité et du modèle de patrons

**Au niveau du méta-modèle des notations de durabilité**, la finalité du méta-modèle proposé est de cibler la durabilité avec, dans notre cas, une application plus limitée aux propriétés d'équité. Il est bien sûr possible d'utiliser des notations plus génériques d'IE telles que  $i^*$  (Yu & Mylopoulos 1997), KAOS (van Lamswerde 2009) ou encore URN/GRL (ITU 2012). La volonté était cependant de s'aligner avec les travaux existants spécifiques à la durabilité tels que (Penzenstadler & Femmer 2013). Conceptuellement, les méta-modèles sont largement compatibles avec une démarche de raffinement depuis des propriétés (ici orientée durabilité) vers une opérationnalisation sous forme d'activité avec un concept intermédiaire de valeur et une classification par dimension de durabilité. Ceci a permis d'intégrer des études de cas réalisées avec des notations d'IE plus génériques. Inversement, certaines techniques d'analyse d'IE peuvent aussi être transposées à notre démarche d'analyse. De fait, nous avons été confrontés à plusieurs limitations que nous avons pu résoudre via des extensions conservatrices par rapport au méta-modèle initial. Celles-ci sont présentées en grisé sur la figure 3 qui utilise aussi une terminologie française contrairement au méta-modèle initial présenté à la figure 1.



**FIGURE 3.** Méta-modèle étendu avec les obstacles, hypothèses et fragments (concepts grisés)



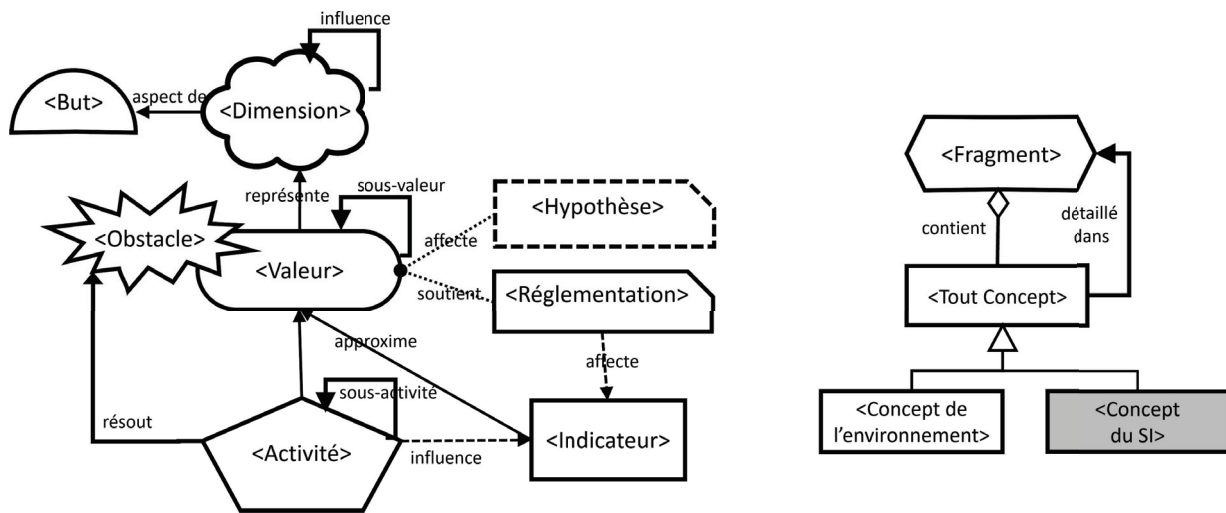
**Une première limitation traitée est le manque de mécanisme permettant d’initier des raisonnements intéressants sur les propriétés d’un système dans un environnement non-idéal** et par ce biais d’enrichir le modèle. Pour y remédier, nous avons intégré, dans la figure 3, le concept d’*Obstacle* en le définissant comme obstruant un *But* et, par héritage, également une *Valeur* qui est interprétée comme étant de même nature qu’un *But* mais spécifique à une *Dimension*, ainsi que le nouveau concept d’*Hypothèse*. Ce concept est introduit pour capturer un comportement devant être satisfait pour que la *Valeur* concernée soit assurée sans pour autant que le système ne l’impose. Il permet d’explicitier une idéalisation réalisée et éventuellement la remettre en question par la suite. Afin de résoudre un *Obstacle*, une *Activité* spécifique peut être introduite.

On note ici l’influence de l’IE sur ces extensions permettant un meilleur raisonnement sur le réalisme des modèles. Afin de découvrir des obstacles et de proposer des stratégies de résolutions, des techniques développées en IE sont directement applicables (van Lamsweerde & Letier 2000)(van Lamsweerde 2009). Les stratégies d’identification d’obstacles comprennent des techniques assez systématiques mais aussi très formelles de régression de la négation d’un but à travers les propriétés du domaine pour identifier des causes. D’autres stratégies sont basées sur des patrons d’obstacles assez génériques, par exemple, un patron de « famine » est fort pertinent pour engendrer des violations de l’équité de l’accès à une ressource. Enfin, des stratégies moins formelles sont basées sur des heuristiques et des techniques similaires aux analyses de risques ou d’arbres de fautes. Par exemple, on peut établir des typologies de causes qui peuvent induire l’accès à une ressource : sa défaillance, son utilisation par un autre agent, un retard dans la disponibilité planifiée, la confusion avec une autre ressource, etc. Au niveau des stratégies de résolution d’obstacles, diverses techniques directement inspirées de l’analyse de risques sont aussi disponibles : l’acceptation, l’évitement, la réduction (qui peut se faire en restaurant le but ou en acceptant un but moins fort) ou encore l’acceptation pure et simple.

**La seconde limitation importante est l’absence de mécanisme de modularité pour décomposer un système complexe en fragments de portée plus restreinte.** Ceci limite d’emblée la complexité des systèmes analysables. Par ailleurs, une telle notion est également nécessaire pour capturer des fragments intéressants et les généraliser sous forme de patrons qui peuvent être caractérisés et classés en vue de leur réutilisation. Cette limitation a été adressée en introduisant le concept de « *Fragment* » comme montré à droite de la figure 3. Un fragment peut contenir tout type d’éléments de modèle détaillé dans un diagramme dédié. Ce fragment peut ensuite être lié à un élément de modèle d’un diagramme qui l’importe. Il peut également être rendu générique, en formant alors un *Patron* réutilisable qui pourra être instancié dans un contexte spécifique.

**Enfin, une troisième limitation est l’absence de distinction entre le SI et son environnement dans le système socio-technique.** Un des objectifs étant de déterminer comment le SI peut soutenir les propriétés d’équité. Un attribut spécifique peut-être associé à tout concept afin de caractériser sa portée sur le SI ou son environnement, ou encore la « machine » et le « monde » pour reprendre la terminologie des « problem frames » de (Jackson 2001). Afin d’explicitier visuellement cet attribut, un fond grisé est associé aux concepts relatifs au SI comme l’illustre la figure 4. Celle-ci propose également des notations graphiques pour nos concepts additionnels, notamment un obstacle est représenté graphiquement par une petite explosion qui peut être directement positionnée sur le concept obstrué (ici une valeur).

Des extensions supplémentaires étaient envisageables mais n’ont pas été implémentées à ce stade, par exemple la notion d’alternative. Celles-ci seront discutées dans la section 5.



**FIGURE 4.** Notations graphiques étendues

Au niveau du modèle des patrons, nous sommes largement restés alignés avec le patron existant proposé par (Roher & Richardson 2013) en l’enrichissant cependant avec les deux éléments suivants permettant une meilleure classification des patrons :

- **Catégorie** - Nom de la catégorie principale (et éventuellement secondaire) du patron selon la typologie présentée à la section 3.
- **Dimensions** - Une ou plusieurs dimensions de durabilité traitées par ce patron. La classification proposée comprend les dimensions suivantes : environnementale, économique, sociale, personnelle et technique (Penzenstadler et al. 2014).

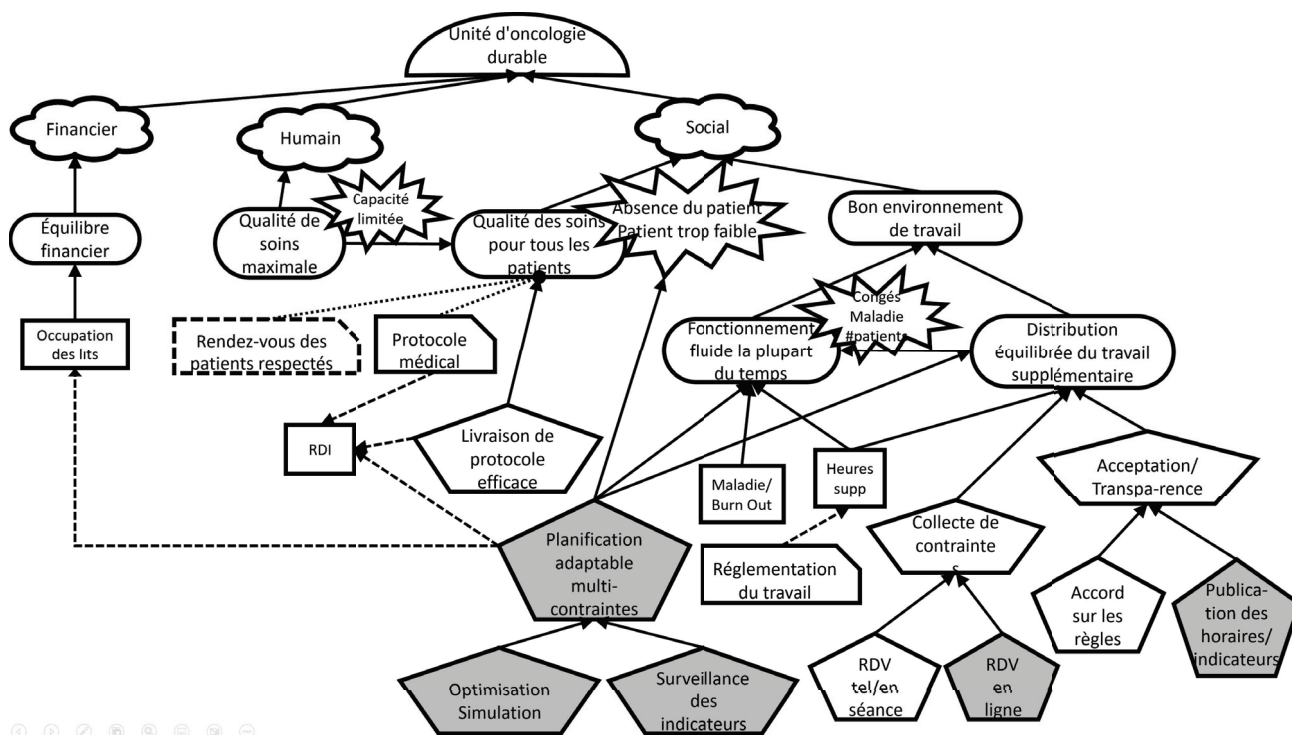
## 2.2. Démarche d’identification des patrons d’équité

La démarche s’appuie sur l’exploitation de la liste des cas d’étude présentée à la section 1.4. Chaque cas est analysé selon la démarche systématique suivante :

1. Identification de valeurs, réglementations ou hypothèses liées à l’équité, avec analyse notamment des notions d’équilibre, de répartition ou d’arbitrage.
2. Analyse de modèles existants (éventuellement dans des notations IE apparentées) ou modélisation a posteriori en fonction du niveau d’information disponible.
3. Analyse d’indicateurs métier afin de déterminer s’ils ont un lien explicite ou implicite avec des notions d’équité.
4. Identification de stratégies récurrentes entre plusieurs cas d’étude, par exemple, en rapport avec la définition des règles, leur transparence, le processus d’adhésion, etc.

A titre d’exemple, la figure 5 illustre la démarche de modélisation à l’aide de ces notations sur une étude de cas de parcours de soins issue du tableau 1 (Ponsard & Landtsheer 2018). Les dimensions humaines, sociales et économiques sont présentes. Du côté humain, une qualité de soins maximale est attendue. Cependant, en raison de la capacité limitée (qui ne peut être résolue économiquement), une valeur sociale de qualité de soins équitable pour tous les patients est définie. Cela signifie que tous les patients sont traités équitablement afin de garantir l’efficacité de leurs traitements qui peuvent nécessiter le respect d’un timing bien défini, exprimé par une réglementation (par exemple, éviter d’augmenter le risque en cas de rechute du cancer). Les patients sont également tenus de respecter leurs rendez-vous

dans leur propre intérêt et parce que le ré-échelonnement peut avoir un impact sur d'autres patients ou augmenter la charge du personnel. Globalement, la charge est répartie équitablement entre les membres du personnel avec une attention particulière aux heures supplémentaires.



**FIGURE 5.** Modèle de l'unité de soins de jour en oncologie

Pour surveiller l'équité, deux indicateurs principaux sont utilisés. Le premier est le RDI (Relative Dose Intensity). C'est un indicateur médical qui indique dans quelle mesure le parcours d'un patient adhère au schéma théorique en termes de respect des délais et des doses requises. Il doit être aussi proche que possible de 1.0 avec une variance minimale entre les patients pour garantir l'équité. Le deuxième concerne la charge du personnel dont la répartition des heures supplémentaires doit être suivie. Le volume de ces heures doit être similaire pour tous les membres du personnel, en tenant compte de leur taux d'occupation. L'analyse de cet exemple révèle différents aspects d'équité liés à la conformité et à l'adhésion. Cela met aussi en évidence une traçabilité basée sur une série d'indicateurs mesurables dont certains peuvent même être publiés à des fins de transparence, par exemple, pour une planification équitable des heures supplémentaires (Ponsard & Landtsheer 2018).

L'analyse de ce modèle révèle déjà une série de briques potentiellement généralisables et documentables sous forme de patrons. De fait, des éléments tels que l'utilisation d'indicateurs de charge et de simulation sont intégrés dans la patron d'anticipation de violation qui est aussi une stratégie d'évitement d'un obstacle. Des éléments liés à l'accord sur les règles et la publication des horaires alimentent respectivement les patrons d'acceptation et de transparence. Ces divers patrons ont été consolidés sur la base d'une analyse couvrant les autres cas (selon le processus décrit plus haut) et détaillés dans la section 3.

### 2.3. Structuration d'un catalogue de patrons d'équité

Pour qu'un catalogue de patrons soit utilisable, il importe que ce ne soit pas juste une liste de fragments mais qu'une classification pertinente soit proposée afin de faciliter l'identification d'un patron spécifique.

Par exemple, pour les « Design Patterns » orientés-objets, les patrons sont regroupés par fonction de création, de structuration ou de gestion du comportement d'objets (Gamma et al. 1995). Comme structure, nos cas d'étude nous ont amené à considérer un processus d'évolution car il s'agit finalement de gérer le changement afin de réaliser la transition et/ou améliorer la durabilité des systèmes comme pointé dans notre état de l'art (Savaget et al. 2019). Cette organisation permet de suivre naturellement un processus d'amélioration continue selon le cycle PDCA (ou PDSA) « Plan-Do-Check/Study-Act » attribué à Deming (Moen & Norman 2010). Il a été appliqué pour assurer les propriétés de la composante de décision dans la conception des SID (Systèmes d'information décisionnels) (Annoni et al. 2006). L'objectif est d'inclure des recommandations pour la montée en maturité en matière d'équité et de durabilité. Celles-ci sont malheureusement peu présentes dans des référentiels de maturité tels que CMMI (« Capability Maturity Model Integration ») (Chrissis & Shrum 2006).

La teneur des étapes décrites dans la figure 6 est la suivante :

- *l'étape de conception* est une étape d'élaboration des règles de fonctionnement du système. Cela implique différents types d'acteurs représentant les diverses parties prenantes : commanditaires, concepteurs, représentants des utilisateurs... Afin de garantir une représentativité et une diversité, des patrons de conception démocratique et participative sont mobilisables.
- *l'étape d'adoption* vise à s'assurer que le système conçu remporte bien l'adhésion des utilisateurs dans leur diversité. Les acteurs impliqués sont ici les utilisateurs du système. La conception participative y contribue déjà en amont, de même que des démarches d'acceptation et de transparence.
- *l'étape de mise en oeuvre* est plus opérationnelle et technique. C'est d'ailleurs celle qui fera le plus intervenir des SI. Les acteurs impliqués sont les gestionnaires tournés vers l'opérationnel et les administrateurs, y compris concernant le SI. On y trouvera des mesures garantissant l'accès à des cibles spécifiques, des mesures d'anticipation de violation de l'équité ou encore de contingence.
- *l'étape d'évolution* permet d'analyser dans quelle mesure le système s'écarte des résultats attendus pour différentes raisons (mesures inefficaces, évolution du contexte...) et d'initier un nouveau cycle. Les acteurs impliqués sont des analystes et des gestionnaires plus stratégiques qui s'appuient sur des métriques issues des différents patrons. Des patrons spécifiques concernent l'analyse objective des données pour éviter des biais, en particulier, dans les processus d'apprentissage automatique. Une démarche de co-évolution peut aussi être mise en oeuvre en lien avec la gouvernance.
- *l'activité transversale de gouvernance* assure le pilotage global. Les acteurs concernés sont les gestionnaires responsables des divers systèmes en opération. L'équité peut être assurée en suivant de grands principes de justice distributive ou de liberté substantielle évoquées dans l'introduction. La mise en place de la diversité dans la gouvernance est aussi un élément clé.

#### **2.4. Démarche d'utilisation du catalogue de patrons d'équité**

Nous décrivons ici un scénario assez large d'appropriation. Certaines étapes pourraient être inutiles pour des utilisateurs déjà familiers ou optionnelles pour des utilisateurs débutants.

1. Une première étape recommandée en préalable à l'utilisation de la librairie de patrons est d'être familier avec le méta-modèle ainsi que ses notations graphiques et comprendre un exemple de modélisation. Ce matériel est présenté dans cette section 2.
2. Ensuite, avant toute analyse, il convient de comprendre la structure de la librairie également décrite ci-dessus et de parcourir quelques patrons pour en comprendre l'organisation ainsi que la manière

de les identifier via leur positionnement dans la structure et les dimensions supportées ou la description de leur intention.

3. Une première identification peut ensuite être confirmée par un examen de la description de l'archétype. Si le patron ne convient pas, un patron alternatif repris en discussion ou dans les patrons associés peut être consulté.
4. En phase de modélisation, l'analyste procède selon une démarche propre qui démarre par l'identification des dimensions clefs et des valeurs associées. L'analyse suivie peut déjà amener à considérer certains patrons en recherchant dans la bibliothèque. Cette étape peut aussi se produire au niveau le plus fin d'une activité spécifique.
5. L'inclusion d'un patron conduit à enrichir le modèle avec certains éléments proposés dans l'archétype car tous les éléments ne sont pas forcément pertinents dans le contexte considéré ou peuvent avoir été repris sous une autre forme. Si nécessaire, il est possible de procéder à une restructuration plus approfondie du modèle.
6. La démarche est poursuivie notamment en affinant les activités ou en considérant des obstacles. Ceci peut également amener à identifier et appliquer des patrons.
7. Un utilisateur régulier et expérimenté peut être amené à identifier des éléments récurrents non documentés dans la librairie et l'augmenter à des fins personnelles ou de son organisation, voire en les partageant plus largement, en contribuant ainsi à un enrichissement de la librairie.

### 3. Catalogue de patrons d'équité

Cette section documente les patrons découverts à partir des cas décrits dans le tableau 1. Ceux actuellement identifiés sont présentés selon le modèle décrit à la section 1 avec les additions présentées dans la section 2. L'archétype est décrit à l'aide des notations augmentées introduites à la section 2. Les patrons sont organisés sous la forme d'un **catalogue** dont la structure globale est illustrée à la figure 6. Elle est constituée de 4 étapes clefs formant un cercle vertueux permettant un processus d'amélioration continue présenté à la section 2.3. Ce processus cyclique est complété par une activité représentée au centre du cycle et qui gère sa gouvernance.

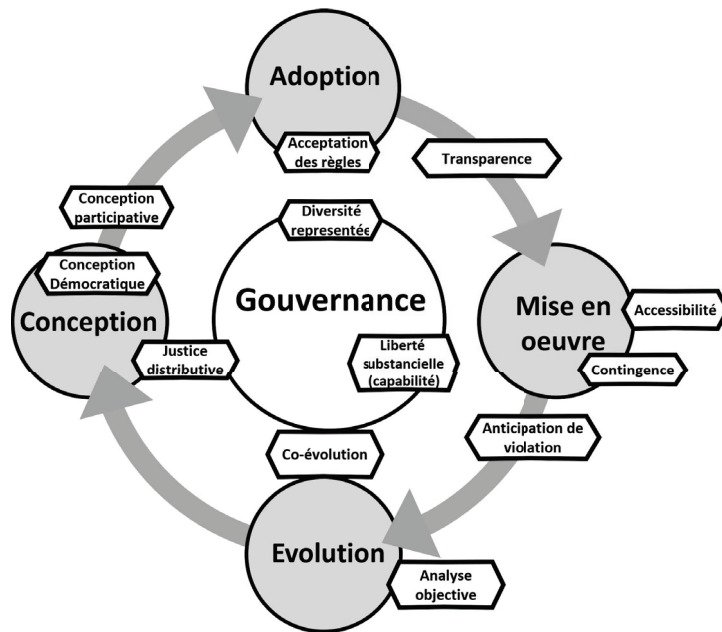
La figure positionne nos divers patrons (hexagones) dans une zone indicative de leur contribution. Celle-ci peut correspondre à une activité spécifique mais aussi constituer un liant entre plusieurs activités. Par exemple, le patron d'anticipation de violation entre dans un cadre d'étape de mise en oeuvre mais va aussi au delà, en permettant une forme d'auto-adaptation et en alimentant le besoin d'évolution comme on le verra dans le détail de ce patron.

La suite de cette section décrit une sélection de nos patrons. Nous les passons en revue de manière non exhaustive en introduisant ceux qui sont utilisés dans le cadre de nos validations, en particulier, ceux qui impliquent plus spécifiquement les systèmes d'information. A cet égard, rappelons que les activités sous la responsabilité du SI sont représentées avec un fond gris.

#### 3.1. Patron de justice distributive

**Catégorie** - gouvernance (conception).

**Dimensions** - économique et sociale.

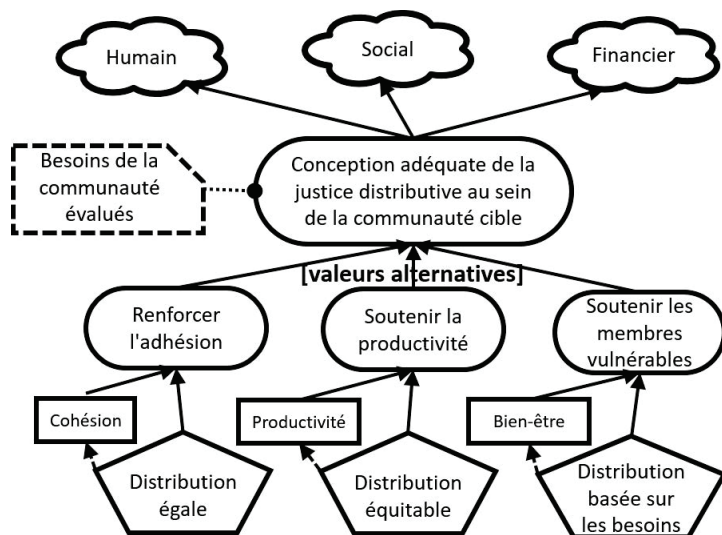


**FIGURE 6.** Structure de notre bibliothèque de patrons d'équité

**Résumé** - La justice distributive concerne la répartition équitable des ressources (matérielles ou services) entre les divers membres d'une communauté. Elle prend en compte la quantité totale de biens à distribuer, la procédure de distribution, notamment en lien avec l'égalité, l'équité, le besoin, la responsabilité, ainsi que le modèle de distribution qui en résulte (Maiese 2013).

**Applicabilité** - Le patron prend en charge différents modèles de valeurs dont l'applicabilité dépend du contexte et implique différents indicateurs.

**Contenu** - Les caractéristiques et les besoins de la communauté doivent être évalués pour sélectionner les valeurs sur lesquelles la répartition doit porter.



**FIGURE 7.** Patron de justice distributive

**Archétype** - La figure 7 montre la décomposition des modèles de valeurs avec des activités et des indicateurs dédiés. Une distribution égale met l'accent sur un sentiment d'appartenance à part entière. L'équité favorise la motivation à produire grâce à une rémunération proportionnelle. La distribution en fonction des besoins garantit que les besoins de base et essentiels communs sont satisfaits. Elle contribue

à la fois au bien-être individuel et à une réduction des risques de violence pénale et politique (Maiese 2013).

**Exemples** - Réglementation du travail, règles fiscales, quotas de pêche.

**Patrons associés** - Adoption de règles équitables, participatives (non détaillée), liberté substantielle (en complément).

### 3.2. Patron de liberté substantielle (ou « capacité »)

**Catégorie** - gouvernance (mise en oeuvre).

**Dimensions** - ce patron cible un plus grand accomplissement personnel.

**Résumé** - Ce patron propose des stratégies pour répondre à des limites de la justice distributive qui est basée sur l'égalité des biens sociaux premiers mais ne suffit pas à garantir que les individus jouiront de la même liberté d'action. Il met en avant la notion de « capacité » (capability en anglais) qui correspond à la possibilité effective de réaliser certains actes valorisants en prenant en compte des caractéristiques personnelles et des facteurs externes (Sen 2009).

**Applicabilité** - Le patron prend en charge différents modèles de valeurs dont l'applicabilité dépend du contexte des personnes impliquées. Il s'appuie sur des indicateurs spécifiques notamment l'IDH (Indicateur de Développement Humain) et de l'égalité des genres comme l'IPF (Indice de Participation des Femmes à la vie économique et politique). Ceci contraste avec des indicateurs économiques tels que des clefs de répartitions ou quotas des approches de justice distributive.

**Contenu** - Les caractéristiques et les besoins de la communauté doivent être évalués pour sélectionner les valeurs sur lesquelles la répartition doit porter.

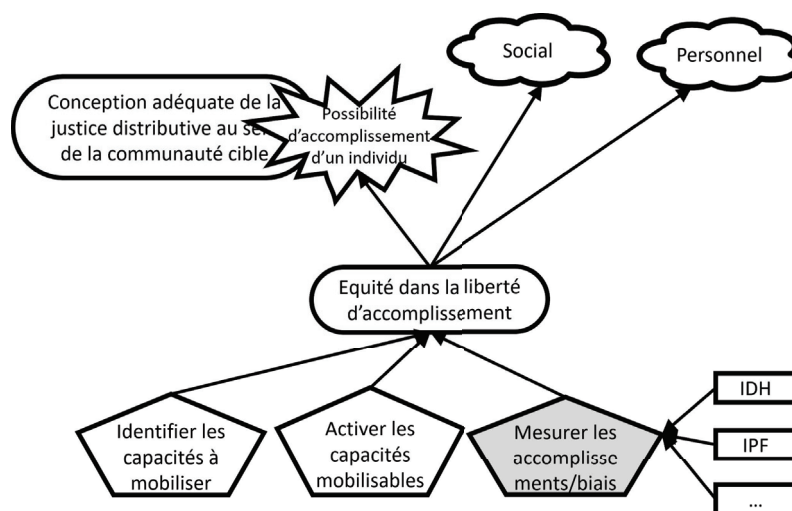


FIGURE 8. Patron de liberté substantielle (« capacité »)

**Archétype** - La figure 8 montre la structure du patron qui est une réponse à l'obstacle d'accomplissement personnel dans la justice distributive. Sa mise en oeuvre est fondamentalement ancrée dans le cercle vertueux dans le sens où il s'agit de faire correspondre les capacités à mobiliser avec celles mobilisables en encourageant la diversité. Le processus se joue essentiellement dans l'aspect RH (Ressources

Humaines). Le SI est utile afin d'analyser des indicateurs d'accomplissement. Au delà de ceci, une partie de la stratégie consiste aussi à transformer le système et donc activer des patrons tels que la co-évolution.

**Exemple** - égalité des genres (WFTO).

**Patrons associés** - Justice distributive, co-évolution.

### 3.3. Patron d'acceptation des règles

**Catégorie** - Adoption.

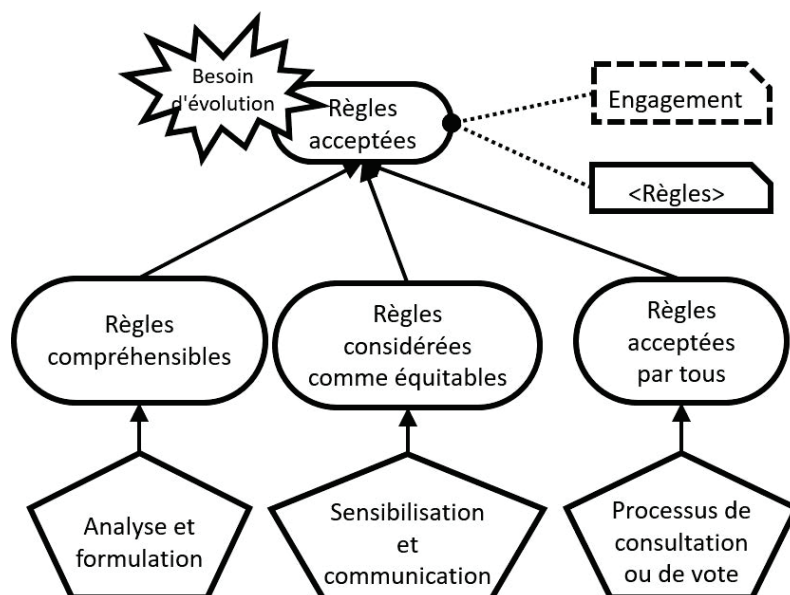
**Dimensions** - Toutes les dimensions peuvent être considérées avec des polarisations différentes selon les points de vue.

**Résumé** - Ce patron traite l'acceptation de l'équité des règles applicables à un système considéré. Il implique diverses dimensions et peut s'appuyer sur des mécanismes tels que la consultation, le vote ou le consensus pour aboutir à une acceptation collective.

**Applicabilité** - Phase d'acceptation, initiale ou ultérieure. Par exemple, après détection d'évolution ou de dégradation.

**Contenu** - Les règles doivent être nuancées en fonction du public ciblé. Des indicateurs importants tels que la diversité, l'engagement et le niveau de précision des règles doivent être quantifiés.

**Archétype** - La figure 9 montre la décomposition des principales valeurs d'acceptation en trois sous-valeurs avec une action propre. Un jalon temporel global est utilisé pour s'assurer que les règles sont compréhensibles, comprises et acceptées. Des itérations sont possibles pour atteindre l'acceptation.



**FIGURE 9.** Patron d'acceptation des règles

**Exemples** - Réglementation du travail, règles fiscales.

**Patron associé** - Conception participative (favorise l'adoption).



### 3.4. Patron de transparence

**Catégorie** - Adoption (mise en oeuvre).

**Dimensions** - Toutes les dimensions peuvent être considérées avec un focus qui sera spécifique au domaine considéré. Par exemple : les aspects sociaux et économiques dans des systèmes de planification, les aspects environnementaux dans les industries ayant potentiellement un impact environnemental. La dimension technique est aussi présente au niveau de la mise en oeuvre au sein d'un SI.

**Résumé** - Ce patron permet d'assurer la transparence des opérations en ce qui concerne certaines informations devant être partagées entre le public cible, en lien avec l'équité dans notre cas.

**Applicabilité** - La transparence est requise dans un environnement concurrentiel avec un faible niveau de confiance ou en cas d'exigence légale.

**Contenu** - Indicateur à mettre à disposition de la communauté avec une garantie sur sa représentativité et le processus d'obtention.

**Archétype** - La figure 10 montre comment la transparence peut être obtenue à différents niveaux : par un audit de processus, une inspection logicielle à l'aide de tests ou de code (open) source, ou en publiant des preuves d'équité dans les décisions opérationnelles. Il implique fortement des composantes SI.

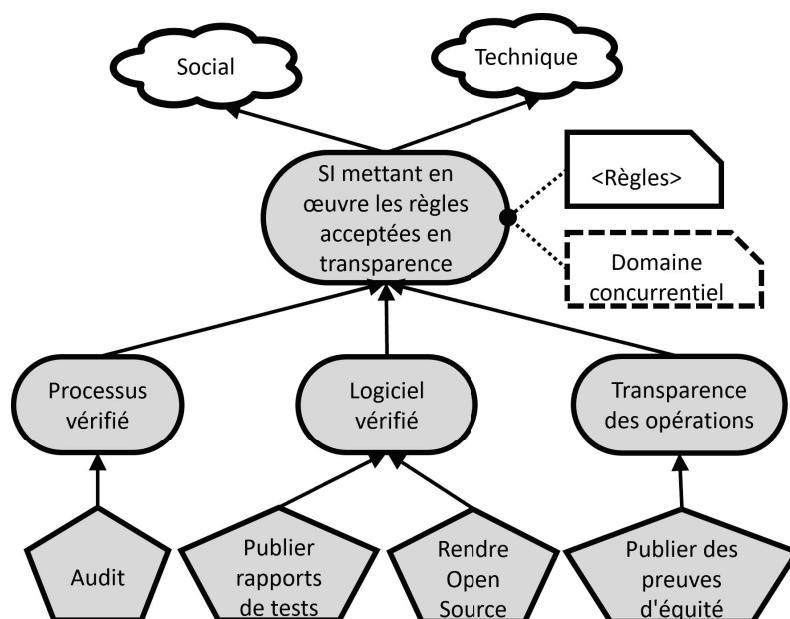


FIGURE 10. Patron de transparence

**Exemple** - Horaires d'équipes de nuit (y compris les explications des règles appliquées par le logiciel).

### 3.5. Patron d'anticipation de violation

**Catégorie** - Mise en oeuvre (évolution).

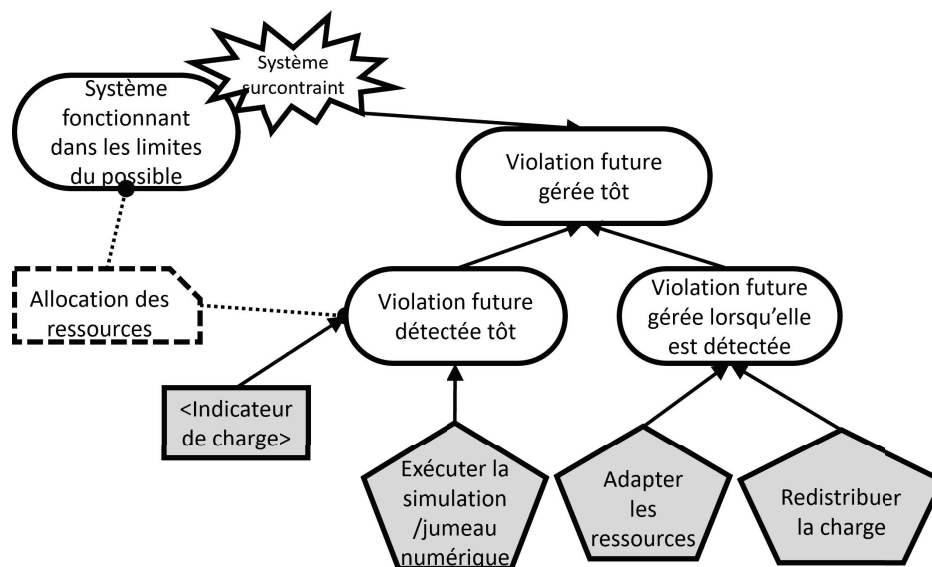
**Dimensions** - Toutes les dimensions peuvent être pertinentes. Les indicateurs à surveiller peuvent être multiples et multi-objectifs sur plusieurs dimensions (cas les plus intéressants).

**Résumé** - Ce patron traite la détection de la violation d'une condition (ici l'équité mais applicable plus largement). Lorsque le risque de violation est présent, ce patron peut l'anticiper et ainsi éviter la survenue de la violation grâce à une mesure adéquate.

**Applicabilité** - La propriété considérée (ici l'équité) doit être prévisible à travers un modèle (lié aux règles et au domaine) et des données à collecter. La mise en oeuvre de mesures correctives nécessite un temps de réaction suffisant. L'apport du SI est à la fois sur l'efficacité de détection de déviations et de la mise en oeuvre de mesures d'évitement.

**Contenu** - Modèle prédictif (oracle, simulateur, jumeau numérique...) et données pour l'alimenter.

**Archétype** - La figure 11 montre la décomposition du patron de violation en deux étapes principales : la détection et la réaction. La phase de détection repose sur des activités de simulation et les données de facteur de charge. La phase de réaction peut poursuivre plusieurs stratégies comme essayer d'augmenter les ressources, équilibrer ou reporter la charge pour s'assurer du rétablissement de la capacité de couvrir tous les besoins sans générer de situation injuste. Le SI vient soutenir efficacement les activités de surveillance des indicateurs et de mise en place réactive d'activités d'ajustement.



**FIGURE 11.** Patron d'anticipation de violation

**Exemple** - Gestion des capacités hospitalières, ressources humaines, quotas.

**Patron associé** - Règle équitable (indicateur à surveiller).

### 3.6. Patron de co-évolution

**Catégorie** - Évolution (gouvernance).

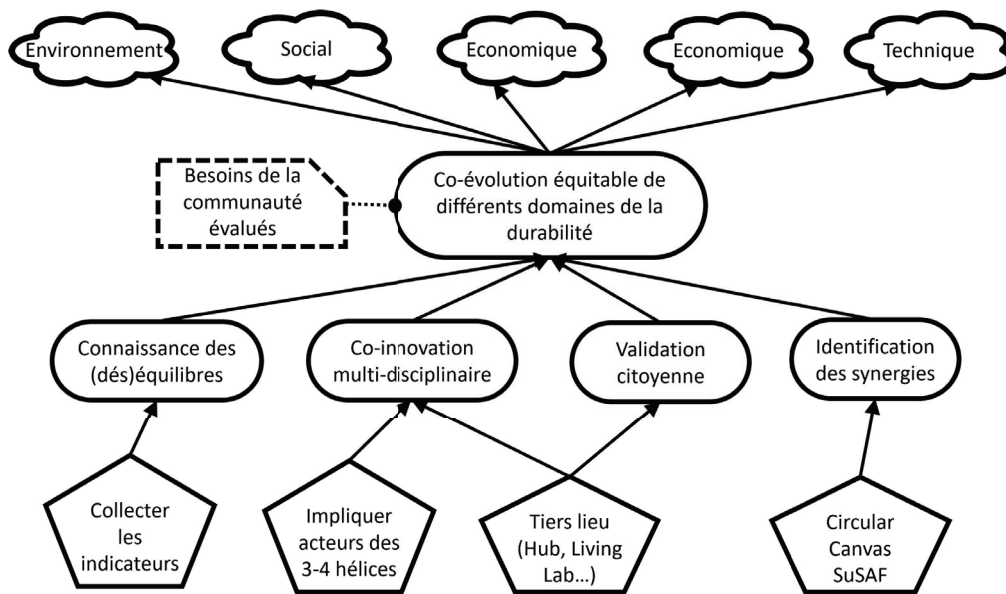
**Dimensions** - Toutes les dimensions peuvent être pertinentes. Au moins deux dimensions sont à considérer pour une co-évolution.

**Résumé** - La co-évolution consiste à activer des synergies entre plusieurs domaines afin de faire bouger les lignes simultanément en évitant ainsi des barrières qui bloquent des stratégies ancrées dans un seul domaine. Elle s'accompagne d'activités d'innovation et d'un plan d'actions qui va alimenter de nouvelles itérations.

**Applicabilité** - Utile pour les problématiques impliquant des domaines multiples de manière intriquée.

**Contenu** - Un modèle de business canevas étendu est utile pour soutenir la démarche, par exemple, un canevas d'économie circulaire intégrant les dimensions environnementales et sociales (Circulab 2022). Le diagramme pentagonal des chaînes d'effets proposé par le SusAF (Sustainability Awareness Framework) est aussi hautement recommandé pour identifier les synergies (Duboc et al. 2020).

**Archétype** - La figure 12 illustre la démarche qui s'appuie sur une prise d'évaluation de la situation avec ses (dés)équilibres, les moyens de co-innovation pluridisciplinaires, de validation citoyenne pour aboutir à l'identification de synergies.



**FIGURE 12.** Patron de co-évolution

**Exemple** - Co-évolution de la mobilité urbaine (en considérant l'évolution de la population, de l'aménagement urbain, des transports en commun, des modes de travail, etc.).

#### 4. Validation

Afin de valider notre catalogue de patrons, nous avons modélisé plusieurs études de cas en appliquant la démarche décrite à la section 2.4 pour guider l'élaboration d'un modèle permettant d'intégrer un maximum de mécanismes garants de l'équité. Nous nous sommes appuyés sur deux études de cas :

La première concerne la gestion de la crise liée à la pandémie COVID-19. Nous l'avons analysée en deux phases successives et distinctes : la phase de confinement et la phase de vaccination. Il s'agit d'un cas qui ne fait pas partie de la liste ayant servi à l'élaboration du catalogue (cf. tableau 1). Dans cette validation, nous explorons uniquement le système socio-technique global sans descendre dans le détail du SI sous-jacent, par exemple, pour réaliser le suivi des vaccinations. Le but est surtout d'illustrer les mécanismes de structuration ainsi que la phase d'identification, en particulier au niveau de la fréquence, du contexte et du type de patron appliqué. On se limitera à annoter les endroits où des patrons sont intéressants à appliquer mais sans les « déplier » dans le diagramme initial, ni examiner comment réaliser d'éventuelles adaptations : ce point sera considéré dans le second cas.

Notre seconde étude de cas concerne un système de suivi médico-social de la petite enfance en Belgique francophone dont la fondation remonte à la première guerre mondiale (ONE 1919). Contrairement à l'autre étude de cas, celle-ci a fait l'objet d'une analyse détaillée préalable par nos soins et a été publiée comme exemple représentatif en matière de durabilité (Chitchyan et al. 2015) mais sans outil spécifique pour l'équité. La modélisation a été réalisée indépendamment de ce travail initial qui était basé sur des notations de type « Use Case » et de processus métier. Dans cette validation, le niveau de détail est poussé plus loin afin d'illustrer comment les patrons permettent d'identifier des exigences sur le SI sous-jacent à certaines activités afin d'assurer les valeurs liées à l'équité. L'étape d'instanciation et éventuellement de restructuration sera explorée plus en profondeur.

Les figures qui suivent sont annotées avec des bulles qui ne font pas partie des notations mais qui relèvent plus du processus de validation : elles pointent des concepts où un patron d'équité semble intéressant à appliquer. Il peut s'agir de n'importe quel concept dont la formulation ou les associations peuvent suggérer un patron.

#### 4.1. Pandémie COVID-19 - phase(s) de confinement

La figure 13 montre notre modèle global avec des valeurs et des activités selon le méta-modèle adopté et des notations dans une perspective de gestion juste et durable de la crise. Notons que ce premier modèle a été établi durant l'été 2020 dans une phase dans laquelle les vaccins n'étaient pas encore disponibles. Il prévoyait cependant un pointeur (représenté avec une texture hachurée) vers un fragment détaillant la phase de vaccination sous qui a été analysée dans un second temps.

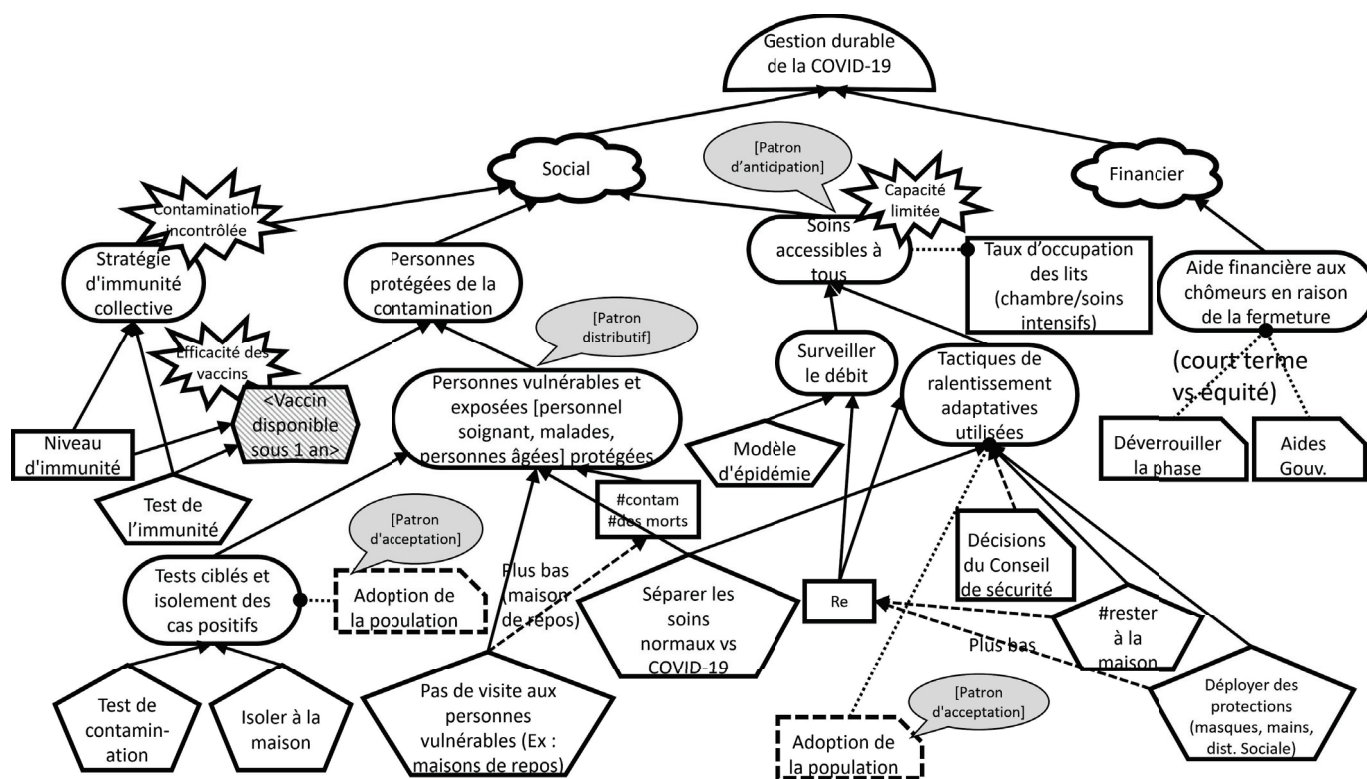


FIGURE 13. Analyse partielle de l'équité de la phase de confinement de la pandémie du COVID-19

A gauche du diagramme, les obstacles à l'immunité collective (à risque) et au vaccin (à long terme) sont d'abord identifiés pour ensuite se concentrer sur l'ensemble des mesures actuellement largement

appliquées. Le décodage de la décomposition des différentes valeurs mène à l'identification des patrons suivants potentiellement applicables :

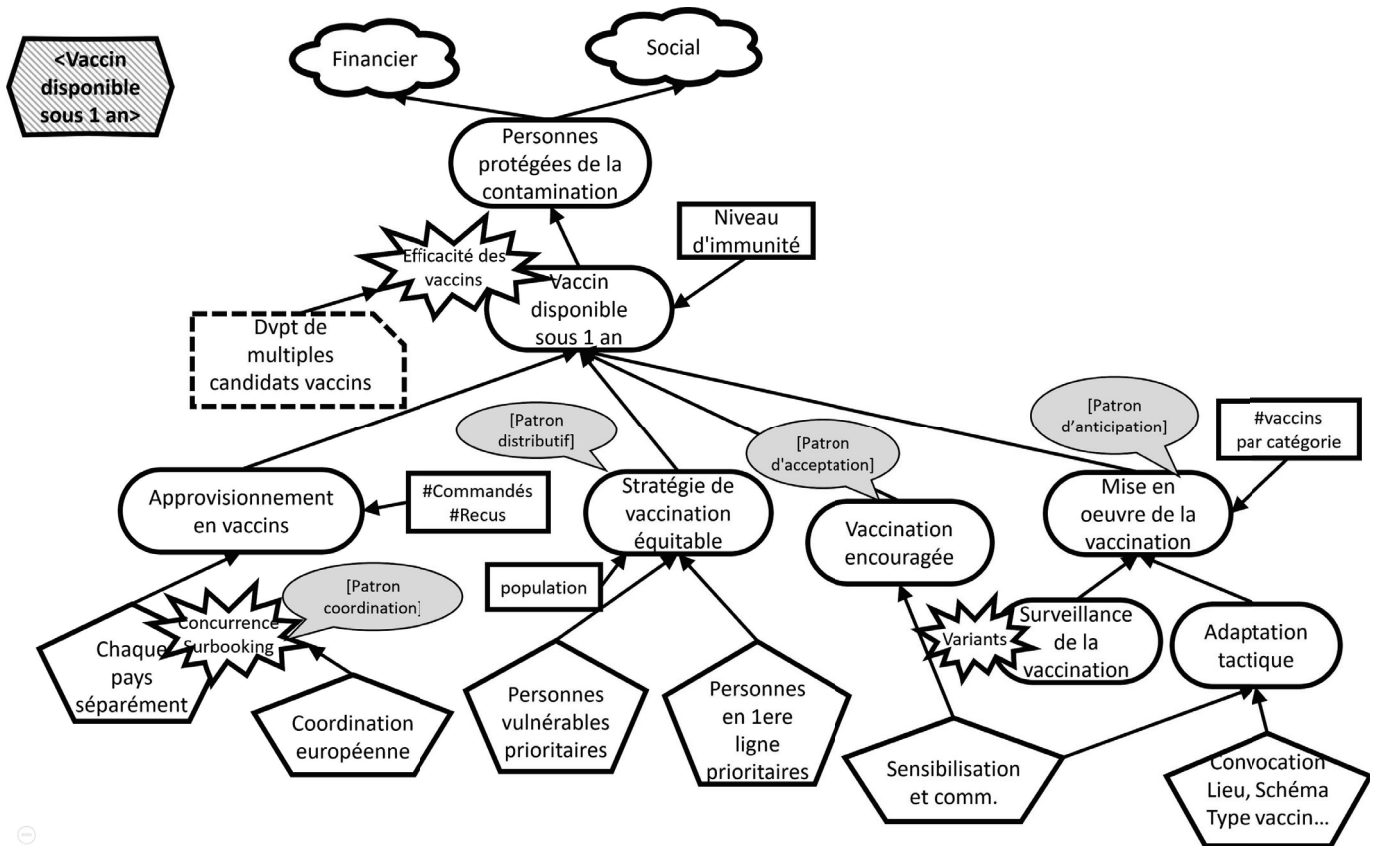
- La protection des membres les plus vulnérables est un patron de justice distributive orienté vers ces personnes. Les activités pour les protéger sont identifiées.
- Le succès de l'approche dépend de l'acceptation des personnes comme souligné dans la communication officielle appelant à la responsabilité réciproque des citoyens et à l'équité (Biddle 2020) (Illes & Cameron 2020). Ceci est capturé par une hypothèse qui peut être développée au préalable dans notre modèle en utilisant notre patron d'acceptation des règles. A noter dans ce cas que l'acceptation de restrictions strictes peut être soutenue par des sciences humaines telles que la psychologie, en explicitant un objectif auquel adhérer et en donnant de la visibilité sur sa réalisation (voir patron de transparence).
- Un accès équitable aux soins signifie que le système doit fonctionner dans les limites de ses ressources et donc anticiper la surcharge. Cela signifie qu'il faut contrôler la pandémie en « aplatissant la courbe de contamination » qui est mesurée grâce désormais au célèbre indice « Re » mesurant le nombre moyen de personnes contaminées par une personne positive et qui doit être maintenu en dessous de 1. Cet indice « Re » est surveillé et un modèle épidémique permet d'évaluer la manière dont le système supporte la crise à partir d'un ensemble de mesures (hygiène, masques, distanciation sociale, verrouillage...) qui sont continuellement évaluées et adaptées, en tenant compte de la latence de la maladie d'environ 2 semaines.
- Le respect de ces mesures, notamment le confinement de personnes positives ou avec un risque spécifique, nécessite un patron d'acceptation des règles afin de s'assurer de leur adhésion.

#### **4.2. *Pandémie COVID-19 - Phase(s) de vaccination***

Depuis fin 2020, la phase de vaccination a été déployée. Sa mise en oeuvre révèle également des patrons intéressants représentés à la figure 14. Ce diagramme exploite les possibilités de raffinement au moyen du point d'ancrage dans le modèle présenté à la figure 13. Toutes les actions pour une mise en oeuvre complète et robuste de la vaccination ne sont pas détaillées car elles nécessiteraient une décomposition plus poussée : nous nous limitons aux principales actions rendant la démarche compréhensible.

La valeur décomposée ici est la vaccination de la population. Ceci était envisagé après un temps minimal d'un an qui a pu être atteint grâce aux efforts colossaux de la recherche mise en oeuvre au niveau mondial et qui a permis d'explorer en parallèle plusieurs vaccins candidats. Ce point est capturé par une hypothèse qui a effectivement été mise en oeuvre. La vaccination elle-même peut dès lors s'appuyer sur l'existence d'une panoplie de vaccins (en faisant abstraction des phases d'autorisation). Elle suit une décomposition formée des jalons suivants :

- L'approvisionnement en vaccins est sujet à des problèmes d'équité qui sont très problématiques dans une approche multi-latérale où chaque pays devait tenter de s'approvisionner lui-même chez une ou plusieurs entreprises pharmaceutiques : les pays seraient alors en concurrence avec une montée des prix favorisant les plus riches, de même qu'un risque accru de commandes excessives pour sécuriser un approvisionnement minimal, voire des risques de dérives tels que cela a été le cas pour l'approvisionnement en masques qui a suivi un tel schéma et qui a même vu des pays voler des cargaisons d'autres pays. En réaction à ces dangers, une approche centralisée basée sur un patron de coordination est préférable. Elle a été mise en oeuvre avec une coordination européenne, même s'il reste des aspects de concurrence entre des blocs internationaux qui ne se positionnent cependant



**FIGURE 14.** Analyse partielle de l'équité de la phase de vaccination de la pandémie COVID-19

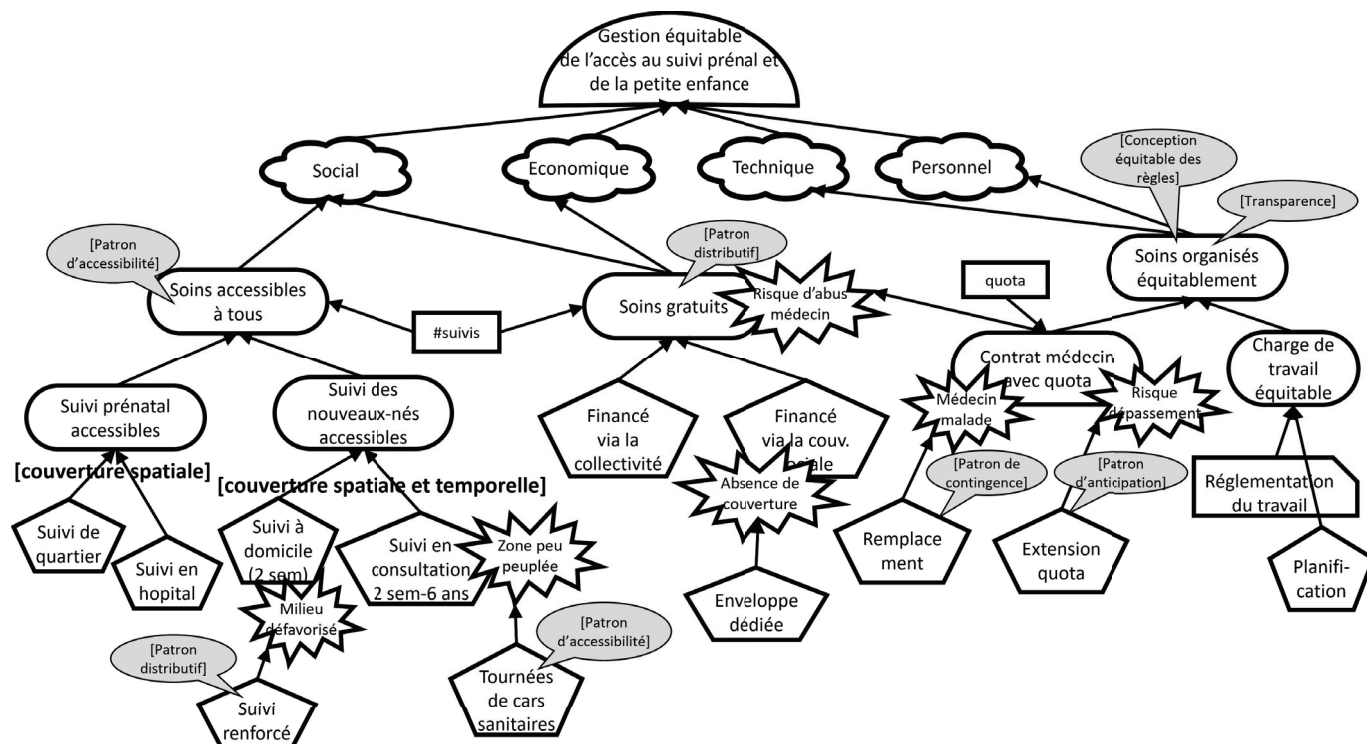
pas totalement sur les mêmes vaccins. L'élément menant à l'identification du patron dans ce cas est l'analyse d'obstacles.

- La stratégie de vaccination, tout comme celle de la protection des populations lors de la première phase, vise à protéger les personnes les plus vulnérables et exposées. Cette stratégie suit donc le même patron de justice distributive afin de déterminer les priorités de vaccination.
- La vaccination n'est pas obligatoire : aucun pays ne semble l'avoir imposée, en préférant miser sur l'adhésion des populations. Il faut dès lors mettre en oeuvre un patron s'assurant de cette adhésion, notamment en mettant en place des campagnes de sensibilisation et de communication comme identifié dans ce patron.
- Enfin, la vaccination doit se faire à un rythme soutenu pour réduire au plus vite les risques d'infection et atteindre un stade d'immunité collective. Le processus doit être adaptatif pour prendre en compte l'évolution de la réalité sur le terrain. Ainsi, l'apparition de variants amène à envisager une adaptation du schéma de vaccination (espacement des doses, types de vaccins). Le dispositif de convocation et les ressources de vaccination doivent être maintenus opérationnels au rythme requis pour garantir que toute personne convoquée reçoive sa dose le jour de son rendez-vous. Dans ce cas aussi, des obstacles sont levés avec un patron permettant de les anticiper au mieux.

### 4.3. Suivi médico-social de la petite enfance

L'Office de la Naissance et de l'Enfance (ONE) a pour mission d'assurer l'agrément, le subventionnement, l'organisation, l'accompagnement, le contrôle et l'évaluation des consultations pour enfants et prénatales ainsi que l'accueil de l'enfant de moins de 12 ans en dehors de son milieu familial. L'organisation implique plus de 1800 travailleurs, 1000 médecins et 4000 volontaires. Elle s'appuie sur environ 400

consultations de différents types. Son principe d'action est totalement orienté sur l'équité : il concerne l'universalité, la non-discrimination et l'accessibilité pour tous.



**FIGURE 15.** Analyse partielle du cas de l'Office de la Naissance et de l'Enfance

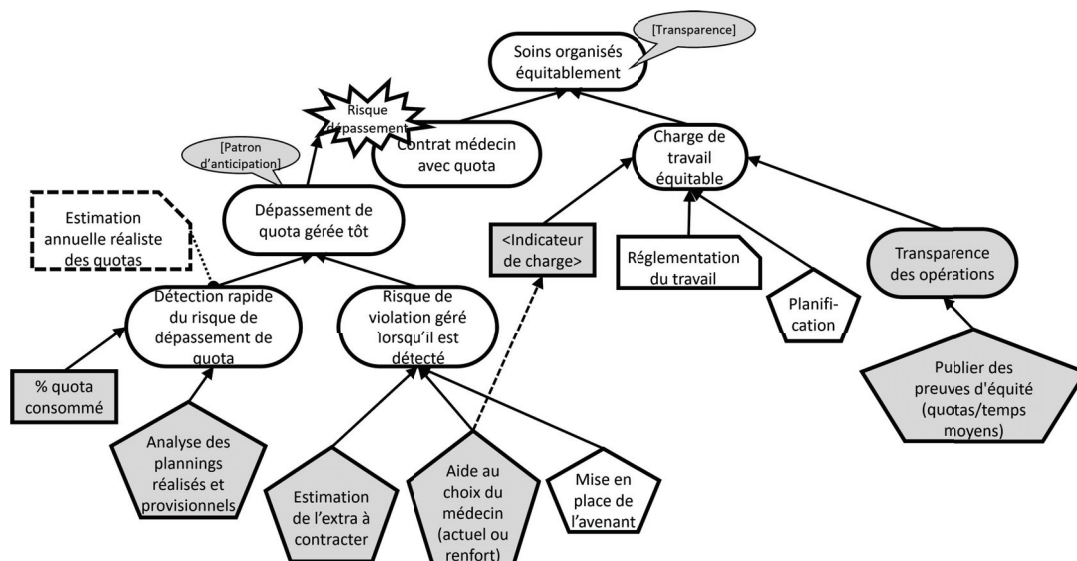
La figure 15 illustre notre analyse menée à partir des valeurs d'universalité et permettant des soins accessibles et gratuits.

- le patron d'accessibilité est utilisé ici. Celui-ci n'a pas été détaillé car il utilise des mécanismes standards de décomposition de l'IE. On considère séparément l'accessibilité pour les femmes enceintes et pour les jeunes mamans avec leurs bébés. Dans le premier cas, les structures proposées sont des consultations de quartier ou en hôpital. Dans le second cas, il s'agit d'une décomposition qui considère trois lieux différents. D'abord le domicile, durant les premiers jours, pour éviter de sortir le bébé mais aussi pour se rendre compte de l'environnement familial. Ce point permet également de détecter des situations sociales nécessitant un suivi renforcé pour donner des chances égales à tous les bébés. Par la suite, le suivi se fait dans une consultation parmi les 400 disponibles donc a priori proche de la famille. Enfin, pour ne pas défavoriser certaines zones peu peuplées, une possibilité de consultation mobile (via des tournées de cars sanitaires) est aussi mise en place.
- le patron de justice distributive est mis en oeuvre au niveau de la gratuité des soins. Ceci met toutes les familles sur le même pied d'égalité. L'analyse plus fine du mécanisme montre qu'il repose sur des subventions à l'ONE mais aussi sur la couverture sociale. Sur ce dernier point, un obstacle peut cependant intervenir pour des familles défavorisées ne disposant pas d'une telle couverture. Ce cas est pris en charge par une enveloppe budgétaire spécifique.
- l'organisation des soins relève du domaine du travail et son organisation répond à la réglementation en vigueur. Cela nécessite une planification complexe notamment des professionnels du secteur sanitaire et social qui se fait dans un souci de transparence. Notons que dans ce domaine, le genre est largement féminin.
- en ce qui concerne les médecins, ils sont sous contrat externe avec un quota d'heures de consultations basé sur des estimations. Deux obstacles peuvent impacter la disponibilité du médecin pour

la consultation : son absence ou l'épuisement de son quota qui peut être lié à une fréquentation supérieure à celle estimée. Ces cas sont respectivement traités par deux de nos patrons : l'absence par un mécanisme de contingence permettant le remplacement d'une ressource par une autre, et le patron d'anticipation qui permet d'étendre un quota via un avenant au contrat. La transparence est également importante.

La figure 16 se concentre sur la valeur relative à l'organisation équitable des consultations des médecins. Les patrons mentionnés dans le paragraphe précédent sont instanciés dans un diagramme spécifique consacré à la valeur de « soins organisés équitablement » afin d'éviter que trop de concepts ne complexifient la figure initiale.

- Le premier patron instancié est celui relatif à l'anticipation de la violation des quotas. La terminologie générique décrivant le patron est adaptée au contexte : l'indicateur de charge est ici le pourcentage du quota consommé. Le SI peut en assurer automatiquement la détection car il dispose de toute l'information du réalisé et de la planification pour vérifier si l'estimation annuelle (par hypothèse réaliste) ne risque pas d'être violée. Si c'est le cas, le SI peut aussi intervenir dans la résolution du problème : d'une part en calculant le quota qu'il faut prévoir en complément, et d'autre part, en aidant à identifier quel médecin est le plus qualifié pour l'accomplir. Le premier candidat est le médecin actuellement affecté s'il n'est pas en surcharge, mais sinon un autre médecin connu du SI peut être identifié sur la base de son niveau de disponibilité ainsi que de la zone géographique. Il reste ensuite une phase manuelle de validation et production d'un avenant vers le médecin sélectionné. On voit dans ce cas que le patron documenté est largement respecté mais personnalisé au contexte.
- Le second patron instancié concerne le besoin de transparence des opérations. Ce patron relève plusieurs aspects complémentaires : audit, vérification du logiciel ou publication de preuves. Dans notre cas, seul le dernier point a été jugé pertinent et suffisant via la publication des informations de quota ainsi que des règles de calcul, incluant notamment le temps moyen qu'on estime qu'un médecin doit passer par enfant en consultation. Au final, le diagramme révèle en gris une série d'exigences placées sur le SI afin qu'il contribue à rendre le système socio-technique complet, plus équitable et durable.



**FIGURE 16.** Instanciation de patrons d'équité pour l'organisation équitable des soins



## 5. Discussion

La constitution du catalogue de patrons d'équité suivie de la démarche de validation a permis de mettre en évidence une série de points intéressants à discuter relevant des notations, des extensions proposées, de la structuration du catalogue ainsi que la manière de l'enrichir et de l'appliquer plus largement au domaine de la durabilité.

Concernant le langage lui-même, il est centré sur le concept clé de valeur, exprimé comme un bien moral ou naturel et perçu comme l'expression d'une dimension spécifique (Penzenstadler 2013). En substance, il partage des similitudes avec le concept de but qui saisit, à différents niveaux d'abstraction, les objectifs que le système considéré devrait atteindre (van Lamsweerde 2001). Les valeurs peuvent également ressembler à des exigences non fonctionnelles (par exemple, la maintenabilité, l'utilisation à long terme). Afin d'aligner le méta-modèle proposé avec ceux de l'IE orientée but, notre méta-modèle a regroupé au moyen d'une spécialisation les notions de but, valeur et hypothèse. Ceci permet de leur associer des obstacles. Les liens associant les buts, valeurs (via une dimension) et sous-valeurs sont similaires à la forme de raffinement « ET » de buts. La forme de raffinement « OU » n'est actuellement pas couverte et est discutée plus loin. Notons que les indicateurs pourraient aussi être décomposés en sous-indicateurs plus précis.

En ce qui concerne nos extensions aux notations initialement proposées (Penzenstadler & Femmer 2013), l'introduction du concept d'obstacle s'est révélé particulièrement riche comme illustré dans nos cas de validation. La présence d'obstacles permet d'identifier des patrons afin de les traiter. Par exemple, lorsque l'équité est souhaitée, elle peut mettre en évidence des situations sortant du cadre des traitements définis et de les gérer spécifiquement. Ceci permet de sortir d'un cadre purement égalitaire et de mettre en place des stratégies identifiées de protection des plus vulnérables. Un autre exemple est le patron d'anticipation d'une violation (beaucoup plus général) qui peut aisément être connecté à un mécanisme de surveillance d'un indicateur clé indiquant que le système n'est plus à même de garantir une certaine forme d'équité et de réagir en conséquence.

Notre seconde extension concerne la modularité. Si elle a été appliquée pour la capture de patrons, elle n'a été que ponctuellement utilisée pour nos cas qui présentent des diagrammes relativement complexes. La seule utilisation concerne l'articulation entre les deux phases de traitement de la COVID. Il s'agit cependant ici d'un choix délibéré de présentation. Nos diagrammes auraient pu être facilement découpés en une hiérarchie de diagrammes plus simples, en limitant leur complexité à une quinzaine de concepts pour rester dans les règles de lisibilité. A cet égard, notons que les points de mise en correspondance avec un patron sont des candidats intéressants pour renvoyer à un diagramme qui particularise le patron. Ceci évite de surcharger le diagramme initial et de garder l'essence du patron intacte au sein d'un diagramme au lieu de la déplier dans un diagramme où il sera combiné avec d'autres concepts.

D'autres extensions de notations auraient pu être également envisagées. Nous aurions pu notamment intégrer la notion d'alternative qui est présente dans des langages d'IE tels que KAOS et  $i^*$ . Ceci aurait permis de raisonner et d'évaluer des alternatives multiples au prix d'une complexité plus grande du méta-modèle. Aussi, on aurait pu plus expliciter les notions d'agent ou encore de ressource. Nous ne l'avons pas considéré à ce stade, car le besoin n'est pas apparu lors du travail réalisé et par souci de ne pas complexifier inutilement le méta-modèle.

Au niveau de la structuration du catalogue, initialement nous avons opté pour une structure hiérarchique que nous avons fait évoluer vers une notion de cycle avec une possibilité de positionnement plus riche de nos patrons par rapport aux différentes étapes identifiées. Les raisons principales sont liées au patron principal qui exprimait un tel processus de manière linéaire et ne rendant pas explicite son caractère itératif, ni la nécessité d'une gouvernance. Par ailleurs, il s'est avéré que certains patrons contribuaient souvent à plus d'une étape. La possibilité de les positionner en deux dimensions offre un degré de liberté supplémentaire intéressant à exploiter.

Ce travail montre l'intérêt des patrons de conception. Ceux-ci ont été identifiés dans plusieurs sources publiées et ensuite appliqués à de multiples reprises, assez systématiquement sur diverses parties de nos cas de validation. Bien que notre démarche s'étale sur plusieurs années et comporte une validation sur des cas menés dans des contextes différents, ce type de travail nécessite une démarche continue d'enrichissement et d'amélioration idéalement menée par toute une communauté. À ce jour, elle n'a été testée que par un petit groupe de chercheurs proches des auteurs, ne disposant pas encore d'un mécanisme favorisant une diffusion plus étendue ni la collecte de retours d'expérience, ce qui constitue sa principale limitation. À ce stade, s'il reste difficile d'estimer le niveau de qualité ou d'utilité du catalogue, nous pouvons cependant souligner des facteurs sur lesquels les retours sont positifs : la facilité d'apprentissage, la sensibilisation au raisonnement par les valeurs ainsi que l'explicitation d'une problématique souvent laissée implicite ou reléguée au niveau d'exigences non fonctionnelles de second rang. En ce qui concerne l'étude de cas COVID-19, les patrons pour la vaccination et le confinement ont été proposés dès le début des phases concernées, sans avoir bénéficié d'une période de recul. Les modèles initiaux se sont avérés très stables et ont été reproduits ici quasiment sans modification. Ceci indique une bonne qualité de la méthodologie et du catalogue.

L'approche proposée peut également traiter d'autres aspects que la dimension d'équité. Une approche naturelle consiste à se focaliser sur la notion de ressource, caractérisant sa nature (renouvelable, réutilisable, jetable...), la transparence de l'empreinte environnementale, la maîtrise de son usage (alternatives, évitement, optimisation, réutilisation...). Certains de ces patrons ont été documentés dans (Hinai & Chitchyan 2015) et sont directement liés à notre patron d'anticipation qui vise à éviter la pénurie de ressources. Il est également intéressant de l'appliquer à un champ plus large afin d'évaluer l'extension proposée du méta-modèle et de l'améliorer davantage si nécessaire, tout en la gardant simple et axée sur le raisonnement de la durabilité. Des langages orientés buts plus précis peuvent entrer en jeu pour soutenir une analyse de conception ultérieure et plus détaillée du système envisagé, y compris les diverses composantes de son SI.

## 6. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons identifié et documenté des patrons de durabilité abordant l'équité pour des systèmes socio-techniques. Nous avons proposé et expérimenté une méthodologie de modélisation et de structuration de patrons basée sur un cadre de modélisation existant qui a été étendu et mis en relation avec des référentiels d'IE. Nous nous sommes appuyés sur un ensemble de cas issus de la littérature et d'expériences personnelles à la fois pour la découverte des patrons et leur validation.

A ce stade, nos travaux ont révélé une réelle valeur ajoutée pour organiser et réutiliser de la connaissance sur la problématique de l'équité. Cet article constitue un instantané d'un catalogue de patrons

d'équité encore voué à évoluer. Cependant, même s'il reste restreint, il propose une bonne couverture des diverses catégories définies sous la forme d'un cycle d'amélioration continue. Son utilité a pu être confirmée lors des validations que nous avons menées. Les mécanismes de raffinement par buts et d'évitement d'obstacles empruntés à l'IE permettent aussi d'envisager des techniques d'application (par raffinement, par mise en correspondance, par remise en question d'une valeur...) qui donnent certaines garanties sur la qualité du modèle.

Sur la base de ces résultats issus du thème spécifique de l'équité, nous envisageons à présent plusieurs pistes de recherche. Au niveau pratique, il est important d'évaluer l'ergonomie de l'usage par le public cible des notations proposées et également de mettre à disposition un outillage adéquat pour la modélisation, la consultation de patrons et pour assurer le partage et l'enrichissement du catalogue. Partant de l'expérience acquise, une question naturelle concerne l'exploration plus large de la durabilité avec une approche similaire, voire de reconsidérer la notion d'exigence non fonctionnelle sous un autre angle puisque la durabilité est notamment liée à la maintenabilité, la portabilité ou encore l'utilisabilité. Elle forme, avec la sécurité et la sûreté de fonctionnement, le cœur des exigences de notre époque (Penzenstadler et al. 2014). Enfin, le point de vue du SI mérite aussi d'être investigué plus en détail dans plusieurs directions. Des patrons plus spécifiques à l'équité et à la durabilité du SI lui-même pourraient être identifiés pour faire le lien avec des patrons d'éco-conception logicielle. Au niveau du cycle de vie du logiciel, il est aussi intéressant d'examiner comment la démarche d'évolution adoptée par notre librairie de patrons peut être mise en lien avec les mouvements de type DevOps au sein des SI.

## Remerciements

Ces travaux ont été en partie financés par le projet de co-innovation IDEES Région wallonne (subvention no ETR121200001379).

## Bibliographie

- Annoni, E., Ravat, F., Teste, O. & Zurfluh, G. (2006), Méthode de Développement des Systèmes d'Information Décisionnels : Roue de Deming, in 'Congrès Informatique des Organisations et Systèmes d'Information et de Décision - INFORSID'06', Hammamet, Tunisia.
- Biddle, S. (2020), <https://quickreads.kemplittle.com/post/102g76f>.
- Burchardt, T. (2008), *Monitoring inequality : Putting the capability approach to work*, pp. 205–229.
- Calero, C. & Piattini, M. (2015), *Green in Software Engineering*, Springer International Publishing.
- Chitchyan, R., Betz, S., Duboc, L., Penzenstadler, B., Ponsard, C. & Venters, C. C. (2015), Evidencing sustainability design through examples, in 'Proc. of the 4th Int. Workshop on Requirements Engineering for Sustainable Systems, RE4SuSy, Ottawa, Canada, August'.
- Chrissis, M. & Shrum, S. (2006), *CMMI : Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Second Edition*, SEI series in software engineering, Addison-Wesley Professional.
- Circulab (2022), 'Circular canvas', <https://circulab.com/fr/toolbox-circular-economy/circular-canvas-regenerative-business-models>.

- Davenport, E. & Low, W. (2013), 'From trust to compliance : accountability in the fair trade movement', *Social Enterprise Journal* .
- Doering, R., Goti, L., Fricke, L. & Jantzen, K. (2016), 'Equity and itqs : About fair distribution in quota management systems in fisheries', *Environmental Values* **25**(6), 729–749.
- Duboc, L. et al. (2020), 'Requirements engineering for sustainability : an awareness framework for designing software systems for a better tomorrow', *Requirements Engineering* **25**.
- Fearne, A., Yawson, D., A, B. & J., T. (2012), *Measuring Fairness in Supply Chain Trading Relationships : Methodology Guide*.
- Francez, N. (1986), *Fairness*, Texts and Monographs in Computer Science, 1 edn, Springer-Verlag New York.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. & Vlissides, J. (1995), *Design Patterns : Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA.
- Hinai, M. A. & Chitchyan, R. (2015), Building social sustainability into software : Case of equality, in 'Fifth IEEE Int. Workshop on Requirements Patterns, RePa, Ottawa, ON, Canada'.
- Illes, J. & Cameron, M. (2020), 'Politicians appeal to our sense of fairness in the battle against covid-19', <http://bit.do/covid-call-for-fairness>.
- ITU (2012), 'Z.151, User Requirements Notation (URN), Language Def.'.
- Jackson, M. (2001), *Problem Frames : Analysing and Structuring Software Development Problems*, Addison-Wesley.
- Jonkman, A. (2020), 'Patterns of distributive justice : social housing and the search for market dynamism in Amsterdam', *Housing Studies* pp. 1–32.
- Kienzle, J. et al. (2020), 'Toward model-driven sustainability evaluation', *Commun. ACM* **63**(3), 80–91.
- Ma, Y., Rong, K., Mangalagiu, D., Thornton, T. F. & Zhu, D. (2018), 'Co-evolution between urban sustainability and business ecosystem innovation : Evidence from the sharing mobility sector in shanghai', *Journal of Cleaner Production* **188**.
- Maiese, M. (2013), 'Distributive Justice (essay)', [https://www.beyondintractability.org/essay/distributive\\\_justice](https://www.beyondintractability.org/essay/distributive\_justice).
- Mathies, C. & Gudergan, S. P. (2011), 'The role of fairness in modelling customer choice', *Australasian Marketing Journal* **19**(1), 22–29.
- Moen, R. D. & Norman, C. (2010), 'Clearing up myths about the deming cycle and seeing how it keeps evolving', *Quality Progress* **43**, 22–28.
- ONE (1919), 'Office de la Naissance et de l'Enfance', <https://www.one.be>.
- Penzenstadler, B. (2013), Towards a Definition of Sustainability in and for Software Engineering, in 'Proc. of the 28th ACM Symposium on Applied Computing'.

- Penzenstadler, B. & Femmer, H. (2012), 'A Generic Model for Sustainability', Technical report, Technische Universität München.
- Penzenstadler, B. & Femmer, H. (2013), A Generic Model for Sustainability with Process- and Product-Specific Instances, in 'Proc. of the Workshop on Green in/by Software Engineering', GIBSE '13.
- Penzenstadler, B. et al. (2014), 'Safety, security, now sustainability : The nonfunctional requirement for the 21st century', *IEEE Software* **31**(3), 40–47.
- Piccoli, G. (2012), *Information Systems for Managers : Text and Cases*, Wiley.
- Ponsard, C. & Darimont, R. (2017), Quantitative assessment of goal models within and beyond the requirements engineering tool : A case study in the accessibility domain, in 'Proc. of the 10th Int. i\* Workshop, Essen, Germany, June 12-13', pp. 13–18.
- Ponsard, C. & Landtsheer, R. D. (2018), Dealing with scheduling fairness in local search : Lessons learned from case studies, in 'Operations Research and Enterprise Systems - 7th Int. Conf. ICORES, Funchal, Madeira, Portugal, Jan. 24-26, Revised Selected Papers'.
- Ponsard, C., Landtsheer, R. D. & Germeau, F. (2018), Building sustainable software for sustainable systems : case study of a shared pick-up and delivery service, in 'Proc. of the 6th Int. Workshop on Green and Sustainable Software'.
- Ponsard, C., Nihoul, B. & Touzani, M. (2021), Analyse et conception par patrons de l'équité de systèmes d'information durables, in 'Actes du XXXIXème Congrès INFORSID, Dijon, France, June 1-4'.
- Ponsard, C., Vanderdonckt, J. & Snoeck, V. (2020), Towards cross assessment of physical and digital accessibility, in 'Computers Helping People with Special Needs - 17th Int. Conf., ICCHP 2020, Lecco, Italy, September 9-11', Springer.
- Pourshahid, A. & Tran, T. T. (2007), Modeling trust in e-commerce : an approach based on user requirements, in 'Proc. of the 9th Int. Conf. on Electronic Commerce : The Wireless World of Electronic Commerce, University of Minnesota', Vol. 258, pp. 413–422.
- Rawls, J. (1971), *A theory of justice*, Belknap Press/Harvard University Press.
- Roher, K. & Richardson, D. (2013), Sustainability requirement patterns, in '3rd Int. Workshop on Requirements Patterns (RePa)', pp. 8–11.
- Saad, N. (2010), 'Fairness perceptions and compliance behavior : The case of salaried taxpayers in malaysia after implementation of the self-assessment system', *eJournal of Tax Research* **8**, 32–63.
- Sanders, C. (2012), 'Is the standard of gender equity failing in fair trade? the capability approach as monitoring tool'.
- Savaget, P., Geissdoerfer, M., Kharrazi, A. & Evans, S. (2019), 'The theoretical foundations of sociotechnical systems change for sustainability : A systematic literature review', *Journal of Cleaner Production* **206**.
- SEBoK (2022), 'Guide to the systems engineering body of knowledge (sebok)', [https://www.sebokwiki.org/wiki/Sociotechnical\\_System\\_\(glossary\)](https://www.sebokwiki.org/wiki/Sociotechnical_System_(glossary)).

- Sen, A. (2009), *L'idée de Justice*, Penguin Books Ltd, Flammarion.
- Syme, G. J. & Nancarrow, B. E. (2006), 'Achieving sustainability and fairness in water reform : A western australian case study', *Water international* **31**(1), 23–30.
- United Nations (1987), 'World Commission on Environment and Development : Our Common Future', Oxford Univ. Press.
- van Lamsweerde, A. (2001), Goal-oriented requirements engineering : A guided tour, in 'Proc. of the Fifth IEEE Int. Symposium on Req. Eng.', IEEE Computer Society.
- van Lamsweerde, A. (2009), *Requirements Engineering - From System Goals to UML Models to Software Specifications*, Wiley.
- van Lamsweerde, A. & Letier, E. (2000), 'Handling obstacles in goal-oriented requirements engineering', *IEEE Trans. Software Eng.* **26**(10), 978–1005.
- Venters, C. C. et al. (2014), Software sustainability : The modern tower of babel, in 'Proc. of the Third Int. Workshop on Requirements Engineering for Sustainable Systems', Vol. 1216.
- Wallace, M. (2016), *From Principle to Practice - A User's Guide to Do No Harm*.
- Yu, E. & Mylopoulos, J. (1997), 'Enterprise modelling for business redesign : The i\* framework', *SIG-GROUP Bull.* **18**(1).