

# Analyse et conception par patrons de l'équité de systèmes d'information durables

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

1. CETIC - Centre de recherche, Gosselies, Belgique

{christophe.ponsard,berengere.nihoul}@cetic.be

2. Chercheur indépendant, Toulouse, France

mounir.touzani@inrae.fr

---

**RÉSUMÉ.** La conception d'un système durable 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 analyse le concept d'équité en utilisant une approche de modélisation couvrant diverses composantes structurées du système d'information au sein d'un méta-modèle de référence incluant : objectifs, hypothèses, réglementation, indicateurs et tâches. À partir d'un ensemble de cas existants, différents patrons d'équité ont pu être identifiés pour assurer des comportements d'adoption, d'anticipation, de justice distributive et de transparence. Ces patrons sont généralisés et documentés dans un embryon de catalogue. Une extension du méta-modèle est proposée afin d'identifier et de raisonner sur les hypothèses et les barrières permettant d'atteindre les valeurs souhaitées. Enfin, une application du travail est présentée pour une conception équitable de la gestion de la crise de la COVID-19.

**ABSTRACT.** Designing sustainable system involves complex interactions between environmental resources, social impact/adoption, and financial costs/benefits. In a constrained world, this means achieving a balanced design across those dimensions but also inside specific dimensions, e.g. social, to cope with the diversity of users and stakeholders. This paper explores the concept of fairness using a modelling approach based on an reference sustainability meta-model. Starting from a set of existing cases, different fairness patterns were identified to cope with adoption, anticipation, distributive justice, transparency. They were generalised and documented using an existing sustainability template. In the analysis process, a small extension to the meta-model is also proposed to identify and reason on assumptions and barriers to achieve the desired values. Finally, a partial application case study on sustainability aspects of the COVID-19 crisis management is presented.

**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

---

## 1. 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 aux besoins et aspirations 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 en termes 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 en termes de fonctionnement à long terme, d'exigences non-fonctionnelles, voire 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 devoir imposer des contraintes dans la manière dont les systèmes sont conçus pour avoir une conception équilibrée, sans nécessairement viser une égalité formelle pure qui n'est pas réalisable en pratique mais pour 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 et 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 niveau informatique, l'équité a une définition technique dans laquelle une séquence infinie doit toujours voir se réaliser une propriété énoncée (après un temps « suffisamment » long) (Francez, 1986).

Dans le cadre de cet article, notre intérêt va bien au-delà de la pure définition technique car nous devons notamment saisir la dimension sociale. Notre objectif est de tenter d'identifier comment les exigences d'équité peuvent être identifiées et gérées avec succès dans des systèmes complexes composés de différents types d'utilisateurs, de parties prenantes et de logiciels devant traiter des règles connexes. Notre but ultime est de produire une base de connaissances structurée facilement, réutilisable et mobilisable pour aider à analyser et arbitrer des décisions sur l'organisation de systèmes incluant une dimension d'équité et qui s'inscrit dans un cadre plus général de durabilité. Nous présentons ici un travail basé sur l'analyse d'un certain nombre de cas jugés intéressants qui contiennent des exigences d'équité. Ceux-ci sont issus de notre

propre équipe ou d'autres équipes actives sur cette thématique et ayant rapportés leurs travaux dans la littérature.

Nous adoptons une approche basée sur un modèle de référence pour évaluer la durabilité (Kienzle *et al.*, 2019). Bien que les cas identifiés puissent être modélisés dans divers cadres d'ingénierie des exigences (IE) tels que  $i^*$  (Yu, Mylopoulos, 1997), KAOS (Lamsweerde, 2009), URN/GRL (ITU, 2012) ou même en texte pur, nous effectuons notre analyse sur la base d'un méta-modèle générique de durabilité et de notations graphiques capables de capturer différents aspects de la durabilité (Penzstadler, Femmer, 2013). **Une première contribution est une extension du méta-modèle pour raisonner sur les barrières possibles. Notre principale contribution est d'identifier et de documenter un certain nombre de patrons d'équité basés sur nos cas d'étude.** Afin de les rendre réutilisables, nous tentons de les organiser dans une structure logique qui est encore sujette à évolution et à révision mais qui est documentée selon un modèle proposé de patrons pour la durabilité (Roher, Richardson, 2013). Enfin, pour illustrer l'utilisation de nos patrons, ce modèle est appliqué sur un modèle partiel de gestion durable et équitable de la crise de la COVID-19.

Le document est structuré comme suit : la section 2 décrit notre approche méthodologique. La section 3 rappelle les notations, introduit notre extension et illustre le processus d'élucidation sur un premier cas issu du domaine hospitalier. La section 4 présente jusqu'ici des patrons d'équité. Dans la section 5, nous présentons notre cas de validation sur la crise de la COVID-19, suivi d'une discussion autour des résultats dans la section 6. Enfin, nous terminons par une conclusion et nos travaux futurs.

## 2. Approche méthodologique

La constitution et la structuration d'une base de connaissances est un travail de longue haleine dont nous posons ici les fondations. L'approche globale est que, face à un problème (ici d'équité), l'identification de pistes de solutions répondant à certaines caractéristiques puisse s'appuyer sur de bonnes pratiques éprouvées par d'autres en bénéficiant de retours d'expérience sur leurs bénéfices et limites. Une technique reconnue est l'utilisation de **patrons de conception (design patterns)** trouvant ses racines dans le domaine architectural et utilisé avec succès pour des systèmes logiciels (Gamma *et al.*, 1995). Une telle approche a été proposée pour la durabilité et nous nous appuyons dessus (Roher, Richardson, 2013). Ces patrons suivent un modèle de présentation structuré permettant de faire le lien entre une problématique, une solution générale, une guidance pour l'appliquer et la combiner avec d'autres patrons éventuellement pertinents à mobiliser. La section 4 adopte ce modèle de présentation :

- **Résumé** - Vue d'ensemble de l'intention, des principales dimensions et valeurs.
- **Applicabilité** - Contexte dont 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.

- **Exemple** - Instanciation typique, basée sur des cas d'étude.
- **Discussion** - Explication plus détaillée et assistance pour la mise en oeuvre. Cette partie ne sera pas développée dans nos illustrations en raison de l'espace limité.
- **Patrons associés** - Interactions / combinaisons possibles avec d'autres patrons.

Une limitation du référentiel existant de patrons est qu'il s'agit d'une approche textuelle. Afin de permettre une meilleure précision et communication de la description du patron, l'archétype est décrit à l'aide d'**un méta-modèle de durabilité couplé avec des notations graphiques**(Penzenstadler, Femmer, 2013). Celui-ci permet de capturer les différentes dimensions de la durabilité, des valeurs, des tâches, de la réglementation et des métriques. Ce modèle présente cependant quelques limitations pour identifier des obstacles ou des hypothèses importantes à considérer pour la mise en place de certaines solutions. La section 3 détaille une extension à ce méta-modèle ainsi que quelques notations graphiques complémentaires.

La démarche de peuplement et de structuration de la base de connaissances est une démarche progressive ancrée dans l'analyse de systèmes existants. Afin d'amorcer ce processus, nous avons puisé dans un ensemble de projets menés en Belgique par le CETIC. Nous avons également analysé des études de cas ayant une dimension d'équité et publiées dans la littérature. Tout ces cas sont caractérisés dans le tableau 1 en termes de domaine, langage de modélisation et aspects couverts. Chaque cas est analysé selon la démarche suivante :

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

Tableau 1. Caractérisation des cas d'étude utilisés

Sujet	Dimension	Notation	Référence	Questions
Égalité	sociale	Sust. MM	(Hinai, Chitchyan, 2015)	genre, socio-culturel, égalité sociale
Impôts	sociale, financière	textuelle	(Saad, 2010)	juridique, compréhension
Logement social	sociale, financière	conceptuelle	(Jonkman, 2020)	justice distributive, Abordabilité
Hôpital de jour en oncologie	sociale, financière	KAOS	(Ponsard, Landt-sheer, 2018)	impact médical, éthique, gestion de la charge du personnel
eCommerce	sociale, financière	GRL	(Pourshahid, Tran, 2007)	confiance, honnêteté
Service de nuit	sociale, financière	textuelle	(Ponsard, Landt-sheer, 2018)	règles juridiques, profils de personnes, monde fermé, transparence
Voiture partagée	social, environnementale, financière	KAOS	(Ponsard <i>et al.</i> , 2018)	partage client gratifiant, charge de chauffeurs, règles légales
Accessibilité	sociale, financière	KAOS	(Ponsard, Darimont, 2017)	non-discrimination, bâtiments neufs ou anciens, disponibilité des informations

### 3. Notations de modélisation

La figure 1 reprend les concepts clés du méta-modèle de référence de durabilité (Penzenstadler, Femmer, 2013) : *Dimension*, *Valeur*, *Indicateur*, *Régulation* et *Activité*. **Dimension** est un point de vue composé d'un ensemble de valeurs exprimant les objectifs de haut niveau de cette dimension. **Valeur** est un motif porteur de sens pour la dimension concernée. Cette valeur est évaluée par des indicateurs et peut être décomposée hiérarchiquement en sous-valeurs. **Indicateur** est une métrique qualitative ou quantitative liée à une valeur. **Régulation** est un élément externe qui affecte une valeur. **Activité** est un moyen opérationnel de réaliser ou d'influencer une valeur. Ces notations partagent des similarités et influences avec les diagrammes de buts ou d'objectifs très utilisés en Ingénierie des Exigences (IE), notamment la notion de décomposition (Lamsweerde, 2001).

Le méta-modèle présenté comporte également certaines extensions. Il intègre notamment le concept d'*Obstacle* qui est défini comme une barrière à une *Valeur*. Comme illustré par la figure 1, un obstacle est graphiquement appliqué sur la valeur impactée avec une icône dénotant une explosion. Il peut être traité par une *Activité* spécifique qui permet de mitiger ses impacts, voire de l'éliminer complètement selon la stratégie adoptée. Une autre extension est le concept d'*Hypothèse* qui capture un comportement devant être satisfait pour que la *Valeur* concernée soit assurée sans pour autant que le système ne l'impose. Ces hypothèses doivent faire l'objet d'attentions spécifiques sur leur formulation ou validation. On note ici aussi l'influence de l'IE sur ces extensions permettant un meilleur raisonnement sur le réalisme des modèles.

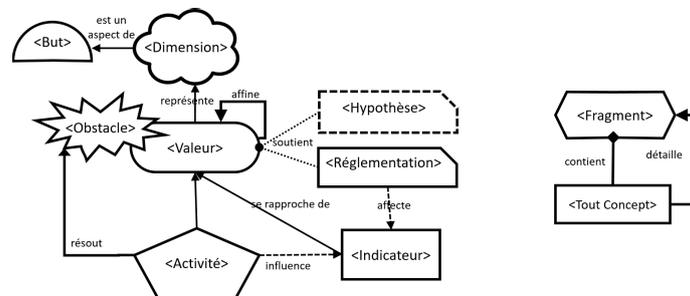


Figure 1. Méta-modèle étendu pour les barrières, les hypothèses et la modularité

Enfin, pour permettre une modularité et capturer des parties de modèles, on introduit le concept de « *Fragment* » comme montré dans droite de la figure 1. Un fragment peut contenir tout type d'élément 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.

La figure 2 illustre l'application de ces notations sur une étude de cas de parcours de soins (Ponsard, Landtsheer, 2018) détaillée dans le tableau 1. 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 financièrement), 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 leur traitement qui peut 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 et générer ainsi des heures supplémentaires. Globalement, la charge est répartie équitablement entre le personnel avec une attention particulière aux heures supplémentaires.

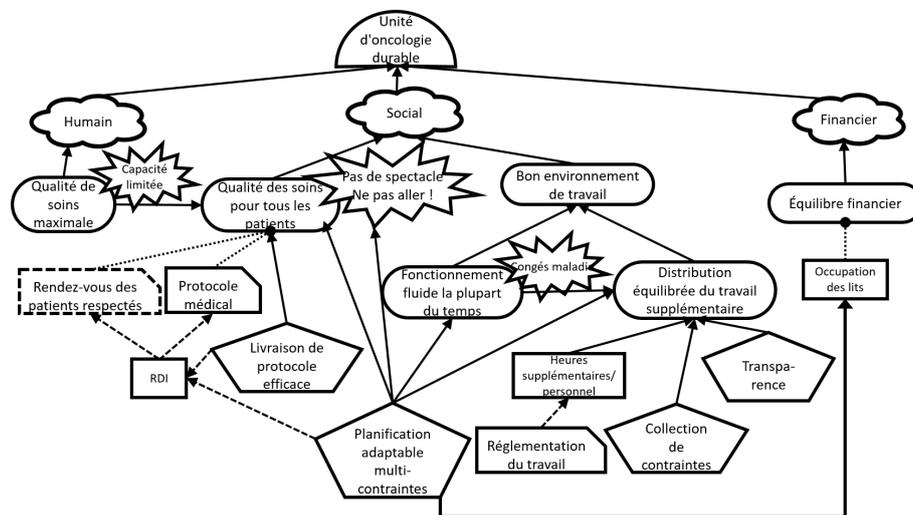


Figure 2. Modèle de l'unité de soins de jour en oncologie

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 » 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, l'adhérence et 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).

#### 4. Documentation de patrons d'équité

Cette section documente les patrons découverts à partir de la liste des cas du tableau 1. Les patrons actuellement identifiés sont présentés selon le modèle décrit à la section 1 et son archétype est décrit à l'aide des notations décrites à la section 2. La documentation actuelle forme un **embryon de catalogue**. Ce catalogue peut se structurer via certains patrons structurants par rapport à d'autres via les mécanismes de modularité ou de patrons apparentés décrits précédemment. **Dans sa version actuelle, le patron initial fait office de table des matières et permet de guider dans l'identification d'un patron en suivant une certaine stratégie de décomposition.** Un ordre de présentation est utilisé si un patron peut être ordonné selon une séquence temporelle. Notons aussi que certains patrons sont identifiés mais ne sont pas encore détaillés à ce stade de leur consolidation.

##### 4.1. Patron d'adoption de règles équitables

**Résumé** - Ce patron met en évidence la structure pour un déploiement équitable d'un système basé sur des règles afin de maximiser les chances d'adoption.

**Applicabilité** - Mise en place ou évolution d'un système reposant sur un ensemble de règles applicables à un large public.

**Contenu** - Les règles doivent être qualifiées 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 3 montre la structure globale composée de trois valeurs principales liées à l'acceptation des règles, à la garantie d'une mise en œuvre correcte et au maintien du fonctionnement dans des limites réalisables.

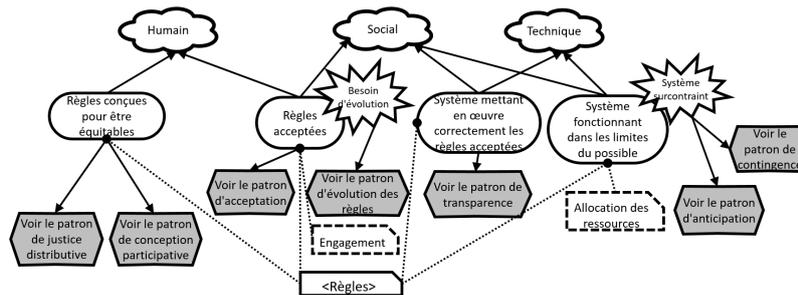


Figure 3. Patron d'adoption de règles équitables

**Exemples** - Planification des équipes de nuit, gestion du trafic, règles COVID.

**Patrons associés** - Justice distributive, conception participative, évolution des règles, transparence, anticipation, contingence.

#### 4.2. Patron de justice distributive

**Résumé** - La justice distributive concerne la répartition équitable des ressources (matériel ou services) entre les divers membres d'une communauté. Elle prend en compte la quantité totale de marchandises à distribuer, la procédure de distribution (par exemple, égalité, équité, besoin, responsabilité) et le patron de distribution qui en résulte (Maiese, 2013).

**Applicabilité** - Le patron prend en charge différents modèles de valeur 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.

**Archétype** - La figure 4 montre la décomposition des modèles de valeurs en arborescence 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 et contribuent à la fois au bien-être individuel et aussi à une réduction des risques de violence pénale et politique (Maiese, 2013).

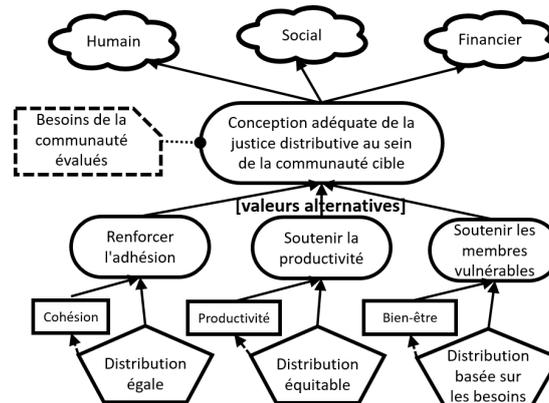


Figure 4. Patron de justice distributive

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

**Patron associé** - Adoption de règles équitables, participatives (non détaillée).

#### 4.3. Patron d'acceptation des règles

**Résumé** - Ce patron traite l'acceptation de l'équité des règles applicables à un système considéré.

**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 5 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.

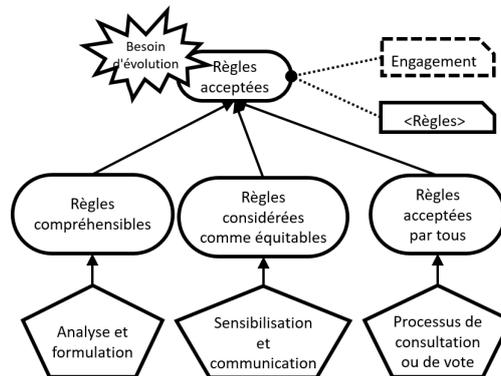


Figure 5. Patron d'acceptation des règles

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

**Patron associé** - Adoption de règles équitables (partie de).

#### 4.4. Patron d'anticipation de violation

**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 collectables. Le déploiement de mesures correctives nécessite un temps de réaction suffisant.

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

**Archétype** - La figure 5 montre la décomposition du patron de violation en deux étapes principales : la détection et la réaction. La phase de détection repose sur les tâches de simulation et les données de facteur de charge. La phase de réaction peut poursuivre plusieurs stratégies comme essayer d'augmenter les ressources, d'équilibrer ou de reporter la charge pour s'assurer de rétablir la capacité de couvrir tous les besoins sans générer de situation injuste.

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

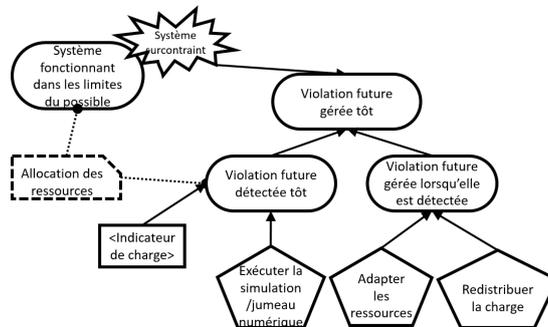


Figure 6. Patron d'anticipation de violation

**Patron associé** - Adoption de règles équitables (partie de).

#### 4.5. Patron de transparence

**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.

**Archétype** - La figure 5 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 encore en publiant des preuves.

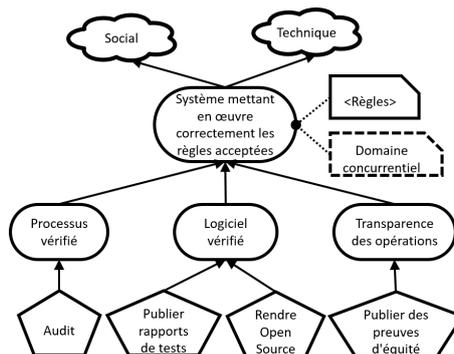


Figure 7. Patron de transparence

**Exemple** - Horaires des équipes de nuit (horaires globaux et trace explicative des règles appliquées par le logiciel).

**Patron associé** - Adoption de règles équitables (partie de).

## 5. Validation - Cas de la pandémie COVID-19

Nous montrons ici comment appliquer certains des patrons documentés dans la section précédente à un cas touchant tout le monde depuis 2020 : la gestion de la crise liée à la pandémie COVID-19.

### 5.1. Phase(s) de confinement

La figure 8 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 faut prévoir cependant un fragment spécifique pour traiter la stratégie de vaccination.

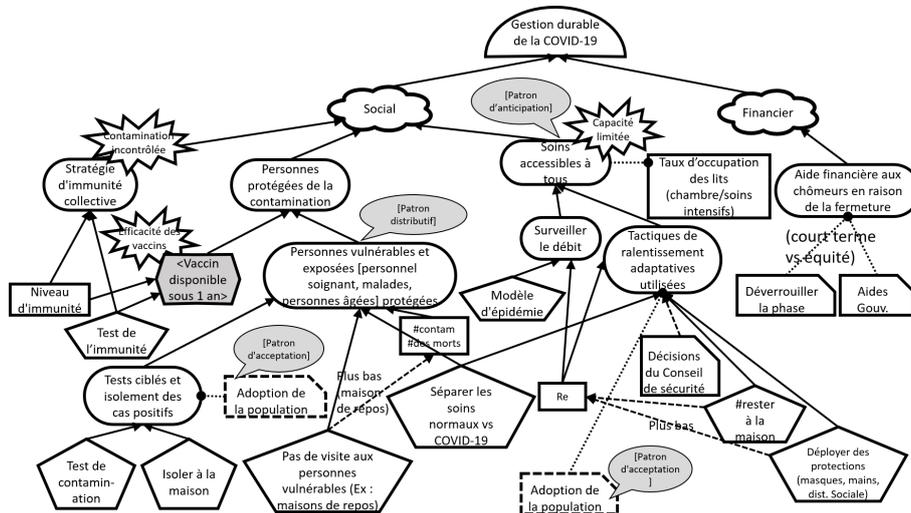


Figure 8. Analyse partielle de la phase de confinement de la crise liée à la COVID-19 du point de vue de l'équité

À la 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 révèle l'application de différents patrons qui sont identifiés à l'aide d'étiquettes grises en forme de ballonnet.

- 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'ac-

ception de règles. A noter dans ce cas que l'acceptation spécifique au domaine pour des restrictions strictes peut être tirée de la psychologie, par exemple, fournir un objectif et donner de la visibilité (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 « aplatisant 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. L'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, etc.) 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 de l'être nécessite un patron d'acceptation des règles afin de s'assurer de l'adhésion de la population.

## 5.2. Phase(s) de vaccination

Depuis fin 2020, la phase de vaccination a été déployée et sa mise en oeuvre révèle également une série de patrons intéressants représentés par la figure 9. Celle-ci ne détaille pas toutes les actions possibles pour une mise en oeuvre complète et robuste de la vaccination qui nécessiterait une décomposition en d'autres diagrammes mais en esquisse les principales afin de rendre les décompositions compréhensibles.

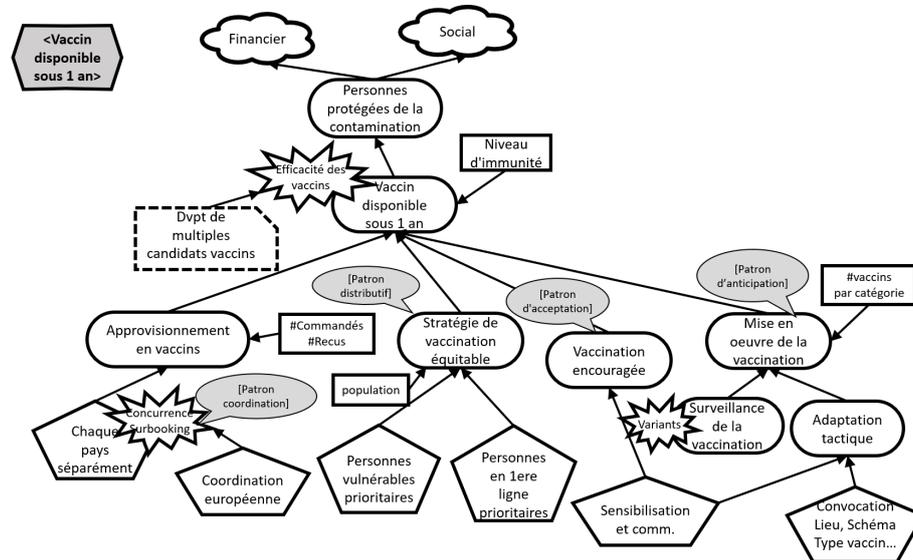


Figure 9. Analyse partielle de la phase de vaccination de la crise liée à la COVID-19 du point de vue de l'équité

La valeur décomposée ici est l'atteinte de la vaccination de la population. Ceci était envisagée 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 de multiples candidats vaccins. 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 devrait tenter de s'approvisionner lui-même chez une ou plusieurs entreprises pharmaceutiques : les pays se verraient 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 les approvisionnements en masques qui ont suivi un tel schéma et qui ont vu des pays voler des cargaisons d'autres pays sur les tarmacs des aéroports. 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 pas totalement sur les mêmes vaccins.

- 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 imposé, 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 oeuvre des campagnes de sensibilisation et de communication comme identifié dans ce patron.

- Enfin, la vaccination elle-même doit se faire à un rythme soutenu afin de réduire au plus vite les risques d'infection et d'atteindre en définitive un stade d'immunité collective. Le processus doit être adaptatif afin de 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), de nouveaux essais cliniques permettant d'envisager d'élargir les vaccins pour certaines tranches de population, un dispositif de convocation et les ressources de vaccination doivent être maintenus les mieux alignés possible afin de maintenir un rythme élevé tout en s'assurant que toute personne convoquée reçoive sa dose le jour de son rendez-vous.

## **6. Discussion**

Ce travail montre l'intérêt des patrons de conception dont certains ont été appliqués à de multiples reprises et assez systématiquement sur diverses parties d'un modèle. Le travail réalisé reste cependant encore partiel et nécessite d'une part d'enrichir la liste des patrons mais aussi d'en améliorer la documentation. En effet, ce type de biblio-

thèque doit être revu et adopté par toute une communauté. C'est en collectant une multitude de retours d'expériences qu'elle peut véritablement devenir intéressante. À ce stade, la plupart des travaux ont été consacrés plus à de l'analyse qu'à l'application et il est difficile d'estimer l'utilité des patrons identifiés. Cependant, nous pouvons souligner certains facteurs importants tels que le partage, l'évaluation de l'apprentissage du « ROI » ou retour sur investissement, l'instanciation par rapport à l'analyse à partir de zéro et l'intégration des contributions dans un ensemble plus large de connaissances. Du point de vue perspective de recherche, cela a déjà suscité de nombreuses questions intéressantes à la fois liées au thème de l'équité qui fait l'objet de ce travail mais aussi plus généralement à l'approche globale. L'étude de cas COVID-19 que nous avons mené en deux phases espacées de quelques mois (phases de confinement puis de vaccination) a aussi permis d'acquérir un peu de recul et de confirmer l'utilité de la librairie sur la seconde phase.

Concernant le langage lui-même, il est centré sur le concept clé de valeur exprimée comme un bien moral ou naturel, 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 différents objectifs que le système considéré devrait atteindre (c'est-à-dire les propriétés prescriptives) (Lamsweerde, 2001). Les deux concepts à l'échelle du système, expriment une notion de mesure de la satisfaction et peuvent être affinés en concepts plus concrets du même type. Les valeurs peuvent également ressembler à des exigences non fonctionnelles (par exemple, la maintenabilité, l'utilisation à long terme), ce qui n'est pas surprenant car une définition possible de la durabilité en dépend. La notion d'objectif spécifique à l'entreprise est également explicitement utilisée pour illustrer la notion de valeur. Une difficulté pour le public familiarisé avec la modélisation d'objectifs est d'éviter d'utiliser la notation comme arbres d'objectifs. À cet égard, les patrons proposés ne sont probablement pas parfaits. Une liste de contrôle consiste à garder à l'esprit le lien avec les dimensions de durabilité, l'expression des qualités spécifiques liées à la durabilité ou l'accent mis sur la notion de ressource.

L'approche proposée peut également traiter d'autres aspects que la dimension d'équité. Aussi, l'égalité a déjà été considérée dans (Hinai, Chitchyan, 2015). 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). Certains patrons identifiés ici sont également directement liés par exemple à notre patron d'anticipation qui vise directement à éviter la pénurie de ressources. Il est également intéressant de l'appliquer à un champ d'application plus large afin d'évaluer l'extension proposée du méta-modèle et l'améliorer davantage si nécessaire, tout en la gardant simple et axée sur le raisonnement de la durabilité. Des langages d'objectifs plus spécifiques peuvent entrer en jeu pour soutenir une analyse de conception ultérieure et plus détaillée du système envisagé.

## 7. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons identifié et documenté un certain nombre de patrons de durabilité abordant l'équité sur la base de différents cas de la littérature et de plusieurs expériences personnelles. Nous nous sommes appuyés sur un modèle existant et des notations pour lesquelles nous avons contribué avec une extension. Deux cas ont été illustrés respectivement dans l'élucidation des patrons et la validation des phases.

A ce stade, nos travaux en cours ont révélé un réel potentiel pour rassembler et réutiliser de la connaissance sur la problématique de l'équité. Bien que notre **catalogue** soit encore très partiel, la modularité mise en place s'est aussi avérée utile pour structurer un catalogue et a permis d'enrichir et affiner la classification. 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...) et de donner certaines garanties de complétude, bien que ce sujet nécessite des recherches complémentaires. A travers cet article, nous espérons susciter des commentaires sur la manière de structurer et présenter les patrons d'équité et plus largement de durabilité afin de produire en définitive un catalogue suffisant de connaissances réutilisables en la matière. À partir de là, un meilleur outillage soutenant la collaboration pourrait être envisagé au-delà des simples outils de dessin vectoriel mis en oeuvre jusqu'à présent.

## Remerciements

Ces travaux ont été en partie financés par le projet de co-innovation IDEES Région wallonne (subvention no ETR121200001379). Merci aux évaluateurs pour leurs commentaires et suggestions.

## Bibliographie

- Biddle S. (2020). <https://quickreads.kemplittle.com/post/102g76f>.
- Calero C., Piattini M. (2015). *Green in software engineering*. Springer International Publishing.
- Francez N. (1986). *Fairness* (1<sup>re</sup> éd.). Springer-Verlag New York.
- Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. (1995). *Design patterns: Elements of reusable object-oriented software*. USA, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- 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.*
- Jonkman A. (2020). Patterns of distributive justice: social housing and the search for market dynamism in Amsterdam. *Housing Studies*, p. 1-32.

- Kienzle J. et al. (2019). *Towards Model-Driven Sustainability Evaluation*. Communications of the ACM, p. 1-10.
- Lamsweerde A. van. (2001). *Goal-oriented requirements engineering: A guided tour*. In Proc. of the fifth IEEE Int. Symposium on Req. Eng. *IEEE Computer Society*.
- Lamsweerde A. van. (2009). *Requirements engineering - from system goals to UML models to software specifications*. Wiley.
- Maiese M. (2013). *Distributive Justice (essay)*. [https://www.beyondintractability.org/essay/distributive\\\_justice](https://www.beyondintractability.org/essay/distributive\_justice).
- Penzenstadler B. (2013). *Towards a Definition of Sustainability in and for Software Engineering*. In Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing, p. 1183–1185.
- 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.
- 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, p. 13–18.
- Ponsard C., Landsheer 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., Landsheer 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.
- 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, p. 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), p. 8-11.
- Saad N. (2010, 01). *Fairness perceptions and compliance behavior: The case of salaried taxpayers in Malaysia after implementation of the self-assessment system*. eJournal of Tax Research, vol. 8, p. 32-63.
- United Nations. (1987). *World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford Univ. Press.
- 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*. <http://www.principletopractice.org>.
- Yu E., Mylopoulos J. (1997, avril). *Enterprise modelling for business redesign: The i\* framework*. SIGGROUP Bull., vol. 18, n° 1.