

La Cognitive Work Analysis (CWA)

Une source d'inspiration pour le développement d'outils méthodologiques nouveaux

1. Présentation générale et fondements

La CWA est définie comme une méthode d'analyse et d'évaluation des systèmes sociotechniques complexes dont le but est d'améliorer leur conception (Fidel & Pejtersen 2004 ; Lintern 2013 ; Naikar 2017 ; Read et al. 2012). Développée à l'origine pour répondre aux problématiques de contrôle dans les centrales nucléaires (Rasmussen 1986), les travaux de Kim Vicente ont permis d'étendre la CWA et d'élargir sa diffusion (Vicente 1999b). Aujourd'hui, les applications sont nombreuses et concernent des domaines multiples dont le domaine maritime (Blanche et al. 2006 ; Burns et al. 2000 ; Procee et al. 2017), le contrôle aérien (Ahlstrom 2005), la conduite automobile (Birrell et al. 2012), le domaine militaire (Jenkins et al. 2008), le domaine sportif (Hulme et al. 2019 ; McLean et al. 2017), et également le domaine médical (Burns et al. 2006 ; Effken et al. 2001, 2011 ; Jiancaro et al. 2014).

À l'inverse des méthodes descriptives et normatives, qui respectivement se focalisent sur une description du travail tel qu'il est et tel qu'il devrait être, la CWA est une méthode formative destinée à comprendre comment le travail peut être potentiellement effectué (Rasmussen et al. 1994 ; Vicente 1999b ; Sanderson 1998). Le cadre d'analyse proposé par la CWA reconnaît que les possibilités pour contrôler une situation sont nombreuses et que les opérateurs disposent d'une certaine liberté vis-à-vis de ce qu'ils doivent faire, quand et comment (Naikar 2006). Ainsi, la CWA ne s'intéresse plus uniquement à l'activité en elle-même mais à l'identification et la modélisation des contraintes auxquelles les travailleurs sont soumis et qui vont délimiter le champ des actions possibles (Naikar 2013). En faisant des contraintes du système la première unité de l'analyse, la CWA participe à la conception de systèmes qui favorisent la mise en place des comportements flexibles et adaptatifs indispensables pour faire face aux situations non familières⁵ et inattendues (Naikar 2017).

Bien que les apports principaux de la CWA concernent la conception d'interfaces, cette méthode s'étend à d'autres problématiques plus générales liées aux facteurs humains et à l'ingénierie (Naikar 2017 ; Read et al. 2012). Des études montrent la pertinence de la CWA comme technique d'évaluation des solutions de conception d'un système (Naikar et al. 2000 ; Naikar & Sanderson 2001), l'étude des besoins en

⁵ Une situation inconnue ou non familière est une situation pour laquelle les combinaisons de situations n'ont jamais été rencontrées auparavant. L'opérateur ne peut alors utiliser une méthode de travail standard et/ou des connaissances de référence, ni pour comprendre ce qui se passe, ni pour choisir une action efficace pour faire face au problème (Bainbridge 1997).

termes de formation (Naikar & Sanderson 1999), l'étude de la conception du travail d'équipe pour les systèmes complexes (Naikar et al. 2000, 2002), l'étude des compétences techniques dans la gestion des erreurs humaines (Naikar & Saunders 2003), l'étude de la distribution des rôles au sein des différents acteurs (Jenkins et al. 2008) ou encore de la gestion de crise en anesthésie (Hall et al. 2006). Cette méthode trouve également des applications tout au long du cycle de vie d'un système (Sanderson et al. 1999).

D'un point de vue théorique, la CWA se base sur trois fondements qui sont : la notion de système, la psychologie écologique, et le contrôle adaptatif (Fidel & Pejtersen 2004). La notion de système ayant été préalablement présentée, nous détaillerons ici la psychologie écologique et le contrôle adaptatif.

a) La psychologie écologique

L'approche écologique représente un fondement essentiel de la CWA dans la manière d'aborder l'être humain au travail. Dans son approche écologique de la perception (Gibson 1979), le psychologue américain James Gibson défend l'idée que la perception ne peut être expliquée qu'au travers une relation indissociable entre un organisme vivant et son environnement. L'organisme vivant agit dans un environnement en fonction de ce qu'il perçoit, en fonction de ce que l'environnement lui offre comme possibilités d'actions. En retour, ce qu'il perçoit ou peut percevoir va dépendre de ses actions et déplacements dans l'environnement. Pour citer Gibson : « nous devons percevoir pour agir mais nous devons aussi agir pour percevoir » (Gibson 1979). La perception est dite « active » parce qu'elle est possible via une exploration active de l'environnement. Cette idée se rapproche de l'approche formative défendue par la CWA qui tente d'analyser les potentialités d'opérations sur un domaine de travail.

Cette boucle dynamique entre perception et action est à l'origine du concept d'affordance, un des concepts clés caractérisant cette approche. En effet, Gibson propose que notre environnement possède des caractéristiques signifiantes qui stimulent notre perception et orientent nos actions. Nommées affordances, ces caractéristiques signifiantes traduisent des possibilités d'actions qui, elles, dépendent des capacités et des caractéristiques intrinsèques de l'organisme vivant en question. L'étude réalisée par Warren (1984) va dans ce sens en montrant que la perception du caractère « montable » d'un escalier dépend des caractéristiques des individus, de leurs tailles et de la longueur de leurs jambes, autrement dit de leur biomécanique. Un second exemple plus trivial de ce concept d'affordance est celui de la chaise. Pour un être humain adulte, la chaise constitue une affordance en l'invitant à s'asseoir dessus. Pour un bébé, dont les capacités et caractéristiques intrinsèques diffèrent, la chaise sera perçue comme un moyen de se redresser et de se tenir debout. Un même objet peut donc fournir différentes possibilités d'actions qui vont dépendre des capacités propres des individus. Réciproquement, un individu développera un comportement sur la base des différentes affordances que lui offre son environnement.

Néanmoins, et même si Gibson considère l'affordance comme une donnée invariante de l'environnement, cette dernière n'est pertinente que si l'organisme la perçoit. Contrairement aux théories cognitives qui envisagent la perception comme se réalisant à l'intérieur du cerveau en faisant appel à nos expériences passées pour interpréter les signaux perceptibles par nos sens, la théorie écologique de la perception visuelle repose sur la notion de perception directe (Luyat & Regia-Corte 2009). Ainsi, les affordances sont perçues sans traitement ou inférence préalable. Perception et action émergent donc de l'interaction entre un agent et son environnement. Donner aux opérateurs la possibilité de s'adapter et de faire face à la complexité nécessite donc de considérer l'environnement comme une source d'affordances. Ces dernières peuvent être mises en lumière ou façonnées de sorte à déclencher les comportements appropriés.

L'une des principales contributions de l'approche écologique dans l'analyse des systèmes sociotechniques est de souligner l'importance du domaine du travail, comme constituant le cœur du sens qui anime les activités humaines (Flach & Voorhost 2016). En effet, de la même façon que la psychologie écologique met en évidence un lien indissociable entre un organisme vivant et son environnement, la CWA souligne l'importance du lien entre l'opérateur et son domaine de travail. La CWA envisage le travail, non plus comme une succession de procédures à respecter, mais comme un champ des possibles qui émerge de l'interaction entre un individu et son domaine de travail. La CWA cherche à analyser les contraintes qu'impose le domaine de travail sur les comportements des individus afin de délimiter l'ensemble des actions possibles et ainsi comprendre comment ces actions vont pouvoir se mettre en place (Vicente 1999b). Adaptation, flexibilité, prise de décision sont alors au cœur de la méthode et sont abordés dans le troisième et dernier concept ci-dessous.

b) Le contrôle adaptatif

Appliqué aux systèmes automatiques, le contrôle adaptatif fait référence aux techniques d'ingénierie permettant aux machines de réguler des situations dynamiques indépendamment des humains. L'adaptation correspond aux modifications en ligne des actions de contrôle en fonction de l'évolution de l'état courant d'un système en comparaison à un état souhaité. Par exemple, la masse d'un avion diminue lentement en cours de vol en raison de la consommation de carburant. À des fins de sécurité et performance, des actions de contrôle doivent être mises en place pour s'adapter aux évolutions continues des conditions de vol (Sheridan 2011).

Concernant les systèmes humains, Flach et ses collègues (2017) ont proposés un modèle des mécanismes de contrôle adaptatif pour rendre compte des comportements associés à la prise de décision. À l'inverse de l'approche classique, qui modélise la prise de décision humaine comme un processus discret⁶ exécuté

⁶ Un processus est discret s'il est composé d'un nombre fini de valeurs.

en boucle ouverte⁷, le modèle du contrôle adaptatif présenté par les auteurs envisage la résolution de problème comme un processus dynamique, exécuté en boucle fermée⁸ et dépendant d'une évaluation continue des exigences de la situation. L'opérateur humain doit constamment surveiller l'environnement, à la recherche d'indices anormaux ou imprévus, tout en évaluant les résultats des mesures précédentes pour s'adapter et répondre aux exigences de la situation. Cependant, les possibilités d'adaptation étant nombreuses, il est impossible pour un ingénieur de lister toutes les combinaisons possibles et de concevoir un système qui s'adapte à chaque facteurs individuels et situationnels possibles. Pour y parvenir, une méthode spécifique est nécessaire pour prendre en compte la structure profonde du problème, autrement dit la dynamique du processus étant contrôlé, i.e. le domaine de travail (Flach et al. 2017 ; Naikar 2013). L'attention ne se focalise plus sur l'activité en elle-même mais sur les contraintes qui vont délimiter l'espace-problème, espace au sein duquel les opérateurs doivent adapter continuellement leurs comportements aux exigences changeantes de la situation (Naikar & Elix 2015).

Ainsi, sur la base des connaissances issues des 3 grands fondements de la CWA, à savoir la notion de système, la psychologie écologique et le contrôle adaptatif, le cadre général proposé par la CWA envisage la situation de travail comme un système complexe au sein duquel des éléments techniques et humains interagissent dans un environnement donné. De par leurs caractères dynamiques, incertains, interconnectés et risqués, ces systèmes imposent des nouvelles demandes sur les opérateurs notamment lors des tâches de supervision et résolution de problème. Soutenir les opérateurs dans ce type de tâche, dans une logique de performance et de sécurité des systèmes, nécessite le développement d'assistances qui supportent les comportements adaptatifs. Pour y parvenir, la CWA ne considère plus le travail comme une liste de procédures à réaliser mais comme un espace de possibilités (i.e. d'affordances) délimiter par des contraintes. D'un point de vue méthodologique, la CWA tente de définir ces contraintes et comprendre les comportements mis en place au sein de l'espace qu'elles délimitent. Les propositions d'améliorations issues de cette analyse sont supposées être adaptées à la fois aux contraintes, à l'espace de liberté qu'elles dessinent, et favoriser la mise en place de comportements adaptatifs. En rendant visibles les objectifs, les contraintes et les affordances du domaine, la CWA aide les opérateurs à reconnaître rapidement ce qui est possible de faire et quelles sont leurs options pour contrôler des situations imprévues pour lesquelles les procédures classiques ne sont pas adaptées (Roth & Bisantz 2013, p240).

D'un point de vue conceptuel, ces caractéristiques font de la CWA un cadre général pertinent pour l'analyse des systèmes faiblement couplés et non traçables. En effet, les notions de contraintes et degrés de liberté sont centrales et la méthode se veut favorable à l'adaptation. Néanmoins, certains aspects de

⁷ Un système de régulation en boucle ouverte ne prend pas en compte la réponse du système dans le contrôle (i.e. les boucles de rétroaction ou feedback).

⁸ Un système de régulation en boucle fermé prend en compte la réponse du système dans le contrôle.

la méthodologie proposée présentent des limites. Après avoir présenté les étapes méthodologiques de la CWA et ses outils spécifiques, nous mettrons en évidence ces limites.

2. Méthodologie

Pour analyser et comprendre les opérateurs qui évoluent dans ces systèmes complexes il faut comprendre la nature profonde de leur travail et l'ensemble des contraintes qui vont influencer leurs comportements. Cela nécessite la compréhension des objectifs qu'ils doivent accomplir, des priorités qu'ils doivent respecter, des tâches qu'ils doivent réaliser, des décisions qu'ils doivent prendre, des stratégies qu'ils peuvent adopter et des équipements qu'ils peuvent utiliser (Naikar 2013).

La CWA se compose de 5 phases d'analyse (Tableau 1). Chacune d'entre elle identifie une catégorie de contrainte auquel un système sociotechnique est soumis (Vicente 1999b) :

- L'analyse du domaine de travail (WDA pour « Work Domain Analysis ») ;
- L'analyse des tâches de contrôle (ConTa pour « Control Task Analysis ») ;
- L'analyse des stratégies (SA pour « Strategies Analysis ») ;
- L'analyse de l'organisation sociale et de la coopération (SOCA pour « Social Organization and Cooperation Analysis ») ;
- L'analyse des compétences des travailleurs (WCA pour « Worker Competencies Analysis »).

Cette séquence d'analyse respecte une transition depuis les contraintes écologiques liées au domaine de travail vers les contraintes cognitives liées aux opérateurs. Ces contraintes sont emboîtées les unes dans les autres et forment l'espace des actions disponibles (ou degrés de liberté) au sein duquel les opérateurs peuvent mettre en place des comportements flexibles et adaptés à la situation de travail.

Parmi ces 5 étapes, les deux premières sont les plus utilisées dans les travaux utilisant la CWA comme cadre d'analyse (Hajdukiewicz et al. 1998 ; Morineau et al. 2013 ; Naikar et al. 2005, 2006 ; Sanderson 1998 ; Read et al. 2015). Ces deux étapes, WDA et ConTa, feront l'objet d'une présentation et d'une critique plus approfondie.

Tableau 1 : Présentation des cinq dimensions de la « Cognitive Work Analysis »

(Vicente 1999b ; Naikar 2006, 2017)

| Étape de la CWA | Objectif | Outil méthodologique |
|-----------------|---|---|
| WDA | L'analyse du domaine de travail modélise les contraintes du système sur lequel l'opérateur agit indépendamment des travailleurs, automatisation, événements, tâches, buts ou interfaces (Vicente 1999b, p150). Ces contraintes environnementales peuvent être physiques, culturelles ou sociales, et dépendent des objectifs, | Hiérarchie d'Abstraction et de Décomposition |

| | | |
|-------|---|--|
| | des priorités et des ressources disponibles. Cette étape d'analyse fournit une description du terrain sur lequel se déroule l'activité, définissant ainsi le champ des actions possibles (i.e. les affordances) au sein de cet environnement. | |
| ConTa | Complémentaire à la WDA, l'analyse des tâches de contrôle permet d'identifier les contraintes sur ce qui doit être fait indépendamment de « Comment » ou « Par qui ». L'étape ConTa permet l'analyse de l'activité mise en place pour atteindre les objectifs compte tenu des ressources disponibles. La tâche de contrôle représente le moyen, pour les opérateurs d'agir sur le domaine de travail décrit précédemment. | Échelle de décision ou Modèle d'activité contextuelle |
| SA | L'analyse des contraintes stratégiques a pour objectif de comprendre quelles sont les façons possibles de réaliser l'activité identifiée précédemment. Cette fois-ci, on s'intéresse à « Comment » le travail peut être fait. | Carte des flux d'information |
| SOCA | L'analyse de l'organisation et de la coopération sociale permet de comprendre « Par qui » l'activité doit être réalisée en étudiant les contraintes d'attribution, de répartition et de coordination du travail dans le système. | Diagramme des possibilités d'organisation du travail |
| WCA | Pour finir, l'objectif de cette dernière étape est d'analyser quels sont les besoins des opérateurs en termes de compétences afin de répondre à la demande du système et comment cette demande peut être gérée compte tenu des capacités cognitives de l'Humain. | Taxonomie des Compétences, Règles, Connaissances |

a) WDA – Analyse du domaine de travail

i. Les objectifs

Comme présenté brièvement dans le tableau précédent (Tableau 1), l'analyse du domaine de travail a pour objectif de modéliser les contraintes liées au domaine dans lequel le travailleur opère (Naikar et al. 2005) et d'identifier les possibilités d'actions (i.e. les affordances) que l'environnement offre aux opérateurs. Pour rappel, le domaine de travail est considéré comme « ce sur quoi l'opérateur agit », indépendamment des travailleurs, automatisations, événements, tâches, buts ou interfaces (Vicente 1999b). À titre d'exemple, le patient est considéré comme le domaine de travail de l'anesthésiste (Hajdukiewicz et al. 1998), la frégate représente le domaine de travail du pilote de la marine (Burns et al. 2000), ou encore l'espace aérien est le domaine de travail du contrôleur aérien (Ahlstrom 2005).

Dans son ouvrage consacré à la CWA, Vicente utilise la célèbre parabole de la fourmi d'Herbert Simon (Simon 1981) pour illustrer ses propos et justifier l'importance de l'analyse du domaine de travail

(WDA) pour donner du sens aux comportements mis en place par les opérateurs. Imaginons une fourmi sur une plage et observons ses comportements, et plus particulièrement sa trajectoire. La figure 4 représente une trajectoire fictive pouvant être observée entre le point d'entrée de la fourmilière et le lieu où se trouve la nourriture. H. Simon écrit que « vue comme une figure géométrique, la trajectoire de la fourmi sur la plage est irrégulière, complexe, difficile à décrire » (Figure 4A). Ce n'est qu'en prenant en compte les particularités de la plage (e.g. présence d'obstacles) que le comportement de la fourmi et ses choix d'orientation peuvent être compris (Figure 4B). La complexité de la trajectoire est liée à la complexité de la plage, et pas uniquement à la complexité de la fourmi.

L'étude des caractéristiques de la plage et des contraintes qu'elle impose sur la fourmi sont donc indispensables pour comprendre le comportement de cette dernière. En effet, les particularités de la plage, sa taille, la présence ou non d'obstacles, définissent un ensemble de trajectoires que la fourmi, compte tenu de ses propres caractéristiques, pourra ou non emprunter dans sa quête de nourriture. Il en est de même pour l'opérateur dans une situation de travail donnée où les contraintes réduisent les comportements à un ensemble d'actions possibles compte tenu du but (Chevalier & Cegarra 2008). De la même façon que les trajectoires de la fourmi dépendent de la plage, les comportements des opérateurs sont dépendants du domaine de travail sur lequel ils effectuent leur contrôle. L'analyse du domaine de travail représente l'étude des particularités de la plage indépendamment de la fourmi, de ses caractéristiques, de son but.

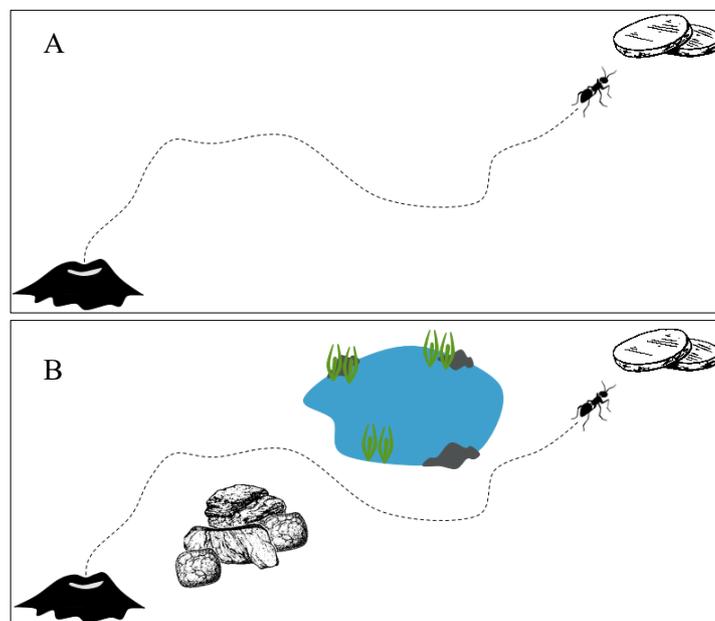


Figure 4 : La parabole de la fourmi d'Herbert Simon (1981).

Illustre l'importance de l'environnement pour comprendre les comportements observables. Vue comme une simple forme géométrique la trajectoire de la fourmi est complexe (A). Une fois corrélée à l'environnement et à ses particularités, le comportement et les choix de la fourmi apparaissent adaptés à la situation (B).

À titre illustratif, dans le domaine de l'aviation, il nous serait difficile d'énumérer de façon précise toutes les positions ou trajectoires qu'un avion pourrait prendre à l'échelle de la planète. Les possibilités dans les 3 dimensions de l'espace étant extrêmement nombreuses. Néanmoins, comme le soulignent Flach & Voorhost (2016, p213), il serait possible de décrire des contraintes réduisant certaines possibilités. Par exemple, les lois en aéronautique et aérodynamique vont limiter des chemins possibles. Les caractéristiques de l'avion, telles que la taille des ailes ou la capacité du réservoir vont elles aussi limiter les trajectoires possibles. Ainsi, compte tenu de ces contraintes, des trajectoires désirables et un espace de navigation au sein duquel un pilote pourra voyager en toute sécurité seront identifiables. La phase d'analyse du domaine de travail a pour but de définir cet espace des possibilités.

ii. Les outils

Pour modéliser le domaine de travail, l'Espace Abstraction-Décomposition (« *Abstraction- Decomposition Space* ») proposé dans les travaux de Rasmussen (1986) est utilisé. Composée de deux dimensions, une dimension « abstraction » basée sur des relations de type « moyens-fins » et une dimension « décomposition » basée sur des relations de type « partie-tout », cette matrice permet d'identifier la complexité inhérente au domaine étudié en fournissant une description de l'espace (i.e. la plage) dans lequel les activités de résolution de problème des opérateurs peuvent être cartographiées comme des trajectoires associées à un objectif (Vicente 1999b, p157). La dimension d'abstraction est représentée verticalement et se nomme couramment la hiérarchie d'abstraction. La dimension de décomposition est représentée horizontalement et se nomme la hiérarchie de décomposition. Tentons ci-dessous de décrire ces dimensions et leurs particularités.

- La hiérarchie d'abstraction (AH) et les relations de types « fins-moyens »

À l'origine, la hiérarchie d'abstraction (AH) est une méthode d'analyse fonctionnelle proposée par Jens Rasmussen (1985) et développée dans le cadre d'études visant à la détection de pannes dans les systèmes électroniques et le contrôle de supervision des centrales électriques (Rasmussen 1985 ; Lind 2003). Cette technique d'analyse repose sur la notion d'affordance propre à la psychologie écologique. Elle permet d'envisager la description d'un domaine de travail en termes de possibilités d'actions (Vicente 1999a). La AH se veut un outil d'analyse permettant de représenter la plage, autrement dit l'espace-problème au sein duquel l'opérateur raisonne pour contrôler la situation. L'espace-problème peut se définir comme un espace au sein duquel se trouvent les processus de recherche de résolution à un problème.

La AH permet de décrire un domaine de travail en 5 niveaux d'abstraction fonctionnelle connectés par des liens structuraux de types « fins-moyens ». Les niveaux inférieurs servent de *moyens* pour atteindre les *fins* des niveaux supérieurs. Pour s'assurer de la cohérence des liens structuraux unissant les différents niveaux de la hiérarchie d'abstraction, la triade « Pourquoi, Quoi, Comment » est utilisée (Vicente 1999b). Ainsi, pour un niveau donné correspondant au « Quoi ? », le niveau inférieur répond

à la question « Comment ? » tandis que le niveau supérieur répond à la question « Pourquoi ? » (Tableau 2).

La description d'un domaine par cette méthode hiérarchique commence par le niveau le plus abstrait et descend ensuite vers une description plus fine permettant de décrire (1) pourquoi le système existe et quels sont ses objectifs généraux ; (2) quelles lois ou fonctions abstraites régissent le comportement des objets du domaine ; (3) quelles fonctions générales, processus ou mécanismes permettent la mise en œuvre des fonctions abstraites ; (4) comment l'opérateur intervient sur ces objets ; et (5) comment les objets sont représentés dans le monde physique, leur forme, leur apparence. Alors que les trois premiers niveaux définissent les raisons du comportement du domaine de travail, les deux derniers définissent les ressources disponibles pour atteindre les buts fonctionnels (Naikar et al. 2005).

Selon Vicente (1999a), la hiérarchie d'abstraction est une technique d'analyse qui est :

- Indépendante des événements : à l'inverse des techniques d'analyse dépendantes des événements, qui basent l'analyse sur une classe finie d'événement déclencheurs, la AH se détache des événements, tâches, situations ou contextes propres au domaine étudié. La AH représente alors des catégories de contraintes et des relations structurelles indépendamment des situations ou événements particuliers dans le but de saisir toutes les actions possibles dans un domaine de travail (Naikar et al. 2005). La AH veut ainsi fournir aux utilisateurs un soutien informationnel adapté à un large éventail d'événements, y compris les événements qui ne sont pas familiers et qui n'ont pas été anticipés par les concepteurs.
- Indépendante des dispositifs : la AH permet aux concepteurs de se détacher des dispositifs existants qui peuvent être sous-optimaux ou non-adaptés et ainsi être ouverts à de nouvelles possibilités de conception.
- Psychologiquement pertinente : la AH se veut produire des représentation externes (e.g. des interfaces utilisateurs) qui soutiennent naturellement les processus cognitifs des utilisateurs.

L'objectif de la hiérarchie d'abstraction est donc de refléter la structure profonde du domaine de travail étudié et d'identifier les besoins informationnels nécessaires aux opérateurs pour faire face aux situations imprévues (Vicente 1999, p163) dans le but de guider la conception de dispositifs plus ergonomiques et écologiques (i.e. des interfaces ou des nouvelles organisations du travail).

À titre d'exemple, le tableau 2 illustre une application de la Hiérarchie d'Abstraction au fonctionnement d'un radiateur électrique (Morineau & Billet 2007) et permet de saisir la chronologie des étapes et la nature des liens unissant ces 5 niveaux d'analyse.

Tableau 2 : Application de la hiérarchie d'abstraction à un radiateur électrique.

Pour faciliter la lecture, les relations sont représentées aux niveaux 2 et 4 mais s'appliquent à chacun des 5 niveaux. Les déplacements de haut en bas dans la hiérarchie d'abstraction expliquent comment un processus, une fonction ou un but peut être atteint. Les déplacements de bas en haut indiquent pourquoi un dispositif, un processus ou une fonction existe.

| Niveau | Dénomination | Contenu du niveau | |
|--------|---------------------------------------|---|------------------------|
| 1 | Objectifs fonctionnels | Maintenir une température donnée dans une pièce. | Pourquoi ? ↑ |
| 2 | Fonctions Abstraites | Lois de conservation des énergies et de conduction électrique. | Quoi ↓ |
| 3 | Fonctions généralisées (ou processus) | Mise en marche ou arrêt du système, alimentation en électricité, comparaison entre température attendue et température actuelle, arrêt du chauffage une fois la température atteinte. | Comment ? |
| 4 | Fonctions Physiques | Branchement électrique, position de la sonde détectant la température. | Pourquoi ? ↑ |
| 5 | Formes physiques | Bouton, manette, indicateur, voyant visuel rouge ou vert. | Quoi ↓ Comment ? |

➤ La dimension de décomposition et les relations de types « partie-tout »

Alors que la hiérarchie d'abstraction décrit le même objet à des niveaux d'abstraction différents, l'étape de décomposition structurelle divise le système étudié en différents niveaux de détails : le système entier, les sous-systèmes et les composants des sous-systèmes (Naikar et al. 2005). La dimension de décomposition repose sur des relations de type « partie-tout » où les composants font partie des sous-systèmes qui eux-mêmes font partie du système global.

Par exemple, le système « voiture » peut se décomposer en un sous-système « moteur », « chaîne de transmission », « espace passager », et les composants du moteur peuvent être « injection », « chambre à carburant », « piston ». Bouger de gauche à droite le long de cette dimension revient à réaliser un « zoom » permettant d'accéder à une vision plus détaillée du domaine de travail. À l'inverse bouger de droite à gauche permet de « dézoomer » et donc perdre en granularité pour obtenir une vision plus générale du même domaine de travail (Vicente 1999b).

➤ L'Espace Abstraction-Décomposition (Abstraction Decomposition Space – ADS)

L'association des dimensions Abstraction et Décomposition forme une matrice à 2D (Tableau 3) où chaque cellule est une représentation différente du même domaine de travail (Vicente 1999b).

Tableau 3 : Représentation de l'espace Abstraction-Décomposition formé par l'utilisation conjointe de la hiérarchie d'abstraction en ligne et la décomposition structurelle en colonne.

Chaque cellule propose une représentation différente d'un même domaine de travail. Au sein de cette matrice, une activité de résolution de problème fictive est cartographiée sous forme de trajectoire.

| Abstraction \ Décomposition | Décomposition | | |
|-----------------------------|----------------|---------------|------------|
| | Système Global | Sous-Systèmes | Composants |
| Objectifs généraux | ① | | |
| Fonctions Abstraites | ② | | |
| Fonctions Généralisées | | ③ → ④ | |
| Fonctions Physiques | | ⑥ ← ⑤ | |
| Formes Physiques | | | Ok |

Sur la diagonale de l'espace « Abstraction-Décomposition » (ADS), la cellule en haut à gauche représente les objectifs généraux du système global alors que la cellule en bas à droite représente les formes physiques des composants individuels du système. Comme le signalent Naikar et ses collègues dans leurs travaux sur l'analyse du domaine de travail (Naikar et al. 2005), les études de Rasmussen menées en 1979 ont permis de montrer que pour répondre à la demande et aux objectifs de la tâche, les travailleurs experts ont tendance à changer leur niveau d'attention et à se déplacer entre une représentation du système entier et une représentation détaillée des composants. Ainsi, les opérateurs tendent à naviguer dans cet espace 2D le long de la diagonale (Tableau 3 – Cellules Grisées) leur permettant de passer rapidement d'une représentation générale à des hauts niveaux d'abstraction à une représentation fine disponible à des bas niveaux d'abstraction. Ce mécanisme est un bon moyen de faire face à la complexité des systèmes (Vicente 1999b).

b) ConTa – Analyse des tâches de contrôle

i. Les objectifs

Deuxième phase de la CWA, l'analyse des tâches de contrôle permet de comprendre ce qui a besoin d'être fait dans un domaine de travail pour assurer son contrôle (Vicente 1999b). ConTA ne se préoccupe pas de savoir comment, par qui ou avec quelles compétences l'activité est réalisée (voir respectivement SA, SOCA, et WCA) mais identifie les activités nécessaires pour atteindre les buts, les priorités, les valeurs et les fonctions d'un domaine de travail compte tenu d'un ensemble de ressources matérielles (Naikar et al. 2006). Tandis que la première phase WDA délimite l'espace-problème, la seconde phase,

ConTa, permet d'apporter des informations supplémentaires concernant les différents modes opératoires, les étapes, les informations, les tâches nécessaires pour la prise de décision (Bisantz & Burns 2009, p169).

De façon plus générale, une tâche de contrôle peut se définir comme un procédé qui transforme des informations spécifiques en entrée, en des actions spécifiques en sorties (Roth & Bisantz 2013, p248). Il s'agit ici du couplage « perception-action » entre un opérateur et son domaine de travail évoqué précédemment. Cette boucle dynamique lui permet d'assurer le contrôle du domaine de travail sur la base d'une structure de buts mettant en séquence des comportements adaptés à la demande. L'étape d'analyse ConTa fait l'hypothèse que l'accomplissement des tâches nécessite des processus cognitifs qui permettent de passer d'un état cognitif à un autre (Lintern 2013). ConTa se focalise alors sur les états cognitifs établis pendant l'exécution de la tâche ainsi que les processus cognitifs utilisés pour effectuer les transitions entre ces états.

ii. Les outils

L'échelle de décision (Rasmussen et al. 1994 ; Vicente 1999b) est l'outil de modélisation généralement utilisé pour l'analyse des tâches de contrôle réalisée sur le domaine (Figure 5). L'échelle de décision tente de décrire les tâches nécessaires pour atteindre les objectifs fonctionnels du domaine de travail mis en évidence via la Hiérarchie d'Abstraction. Cet outil fournit un cadre pour modéliser les mécanismes cognitifs impliqués dans la prise de décision, à savoir les états, ainsi que les processus cognitifs permettant le passage entre ces états. Dans un système physique, un état est une condition décrite en termes de phase, de forme, de structure et les processus physiques agissent sur ces états pour les modifier. Par exemple, la glace est l'état solide de l'eau et le refroidissement est le processus permettant de transformer l'eau en glace. En termes de cognition, les états représentent des états mentaux internes et les processus de traitement de l'information permettent de naviguer entre les états (Lintern 2010). La structure de base de l'échelle propose un modèle pour cartographier les « chemins de décisions observés » et « identifier les différents processus de décision » (Rasmussen et al. 1994). L'objectif étant d'identifier des besoins propres à certaines classes de situations et les contraintes sur ce qui doit être fait (Vicente 1999b, p181).

L'échelle de décision se présente sous la forme de rectangles et de cercles reliés entre eux par des flèches. Les rectangles représentent les activités de traitement de l'information, autrement dit les activités cognitives que les opérateurs doivent mettre en place pour réaliser une tâche, et les cercles représentent les états de connaissances qui résultent de ces activités de traitement. L'activité est modélisée depuis l'activation d'un besoin d'agir (alerte), jusqu'à l'exécution des actions, en passant par l'observation, la classification des informations, et la sélection de la réponse avant exécution (Vicente 1999b ; Rasmussen 1994 ; Roth & Bisantz 2013, p250).

En accord avec Naikar & Saunders (2003), l'échelle de décision se divise en 3 grandes parties ayant des buts spécifiques :

- Partie gauche (montante) : la partie gauche concerne l'observation de l'état actuel du système, la représentation de la tâche de contrôle nécessaire pour connaître l'état du système, l'état de l'environnement. C'est une phase d'analyse de la situation.
- Partie haute : la partie haute représente la tâche nécessaire pour évaluer les buts. L'état actuel et les buts actuels sont évalués pour déterminer un état cible. Cette tâche peut être une tâche de prédiction, de choix, de jugement de valeur.
- Partie droite (descendante) : la partie droite modélise la planification des tâches par l'acteur et l'exécution des actions. Elle comprend différentes étapes dont : définir les tâches, les ressources disponibles, formuler une série d'action ou de procédure à respecter puis l'exécuter.

Le cheminement en cloche proposé par la double échelle de décision (de gauche à droite) représente le flux cognitif d'un raisonnement rationnel chez les opérateurs agissant dans des milieux complexes et dynamiques (Naikar et al. 2006). Néanmoins, les points d'entrées et de sorties sur l'échelle ainsi que les trajectoires peuvent contourner ce cheminement classique. Certains raccourcis sont possibles et permettent de passer rapidement d'un état à un autre et de naviguer entre les différentes parties de l'échelle de décision (Naikar et al. 2006). Les raccourcis de type « shunts » ou déviation, permettent de faire des liens rapides entre une activité de traitement d'information (rectangle) à un état de connaissance. Par exemple, observer les informations présentes dans l'environnement peut permettre d'identifier immédiatement la tâche ou la procédure à exécuter. Les raccourcis de type « leaps » ou sauts, permettent de relier deux états de connaissances entre eux (cercles). Par exemple, lorsqu'un opérateur connaît l'état du système, il peut tout de suite savoir quelle tâche ou procédure il doit effectuer.

La structure de l'échelle de décision soutient les 3 niveaux de performance des comportements humains proposés par Rasmussen (1983), à savoir les comportements basés sur les compétences, sur les règles et les connaissances. Le séquençage linéaire de base caractérise les comportements rationnels basés sur les connaissances. Ces comportements sont principalement adoptés dans les situations complexes pour lesquelles des règles prédéterminées ou les raccourcis ne sont pas disponibles. Dès lors que la situation est familière, les opérateurs expérimentés exploitent les comportements basés sur des règles, leur permettant d'utiliser les raccourcis de type « shunt » ou « leap » et ainsi contourner certaines parties de l'échelle de décision. Ces raccourcis sont également appelés heuristiques et permettent de réduire les étapes internes de traitement de l'information qui sont longues et coûteuses. Pour finir, les comportements basés sur les compétences permettent de relier directement les cases activation et exécution du modèle. Ces comportements sont des comportements hautement automatisés tels que les comportements sensori-moteurs (Naikar 2010).

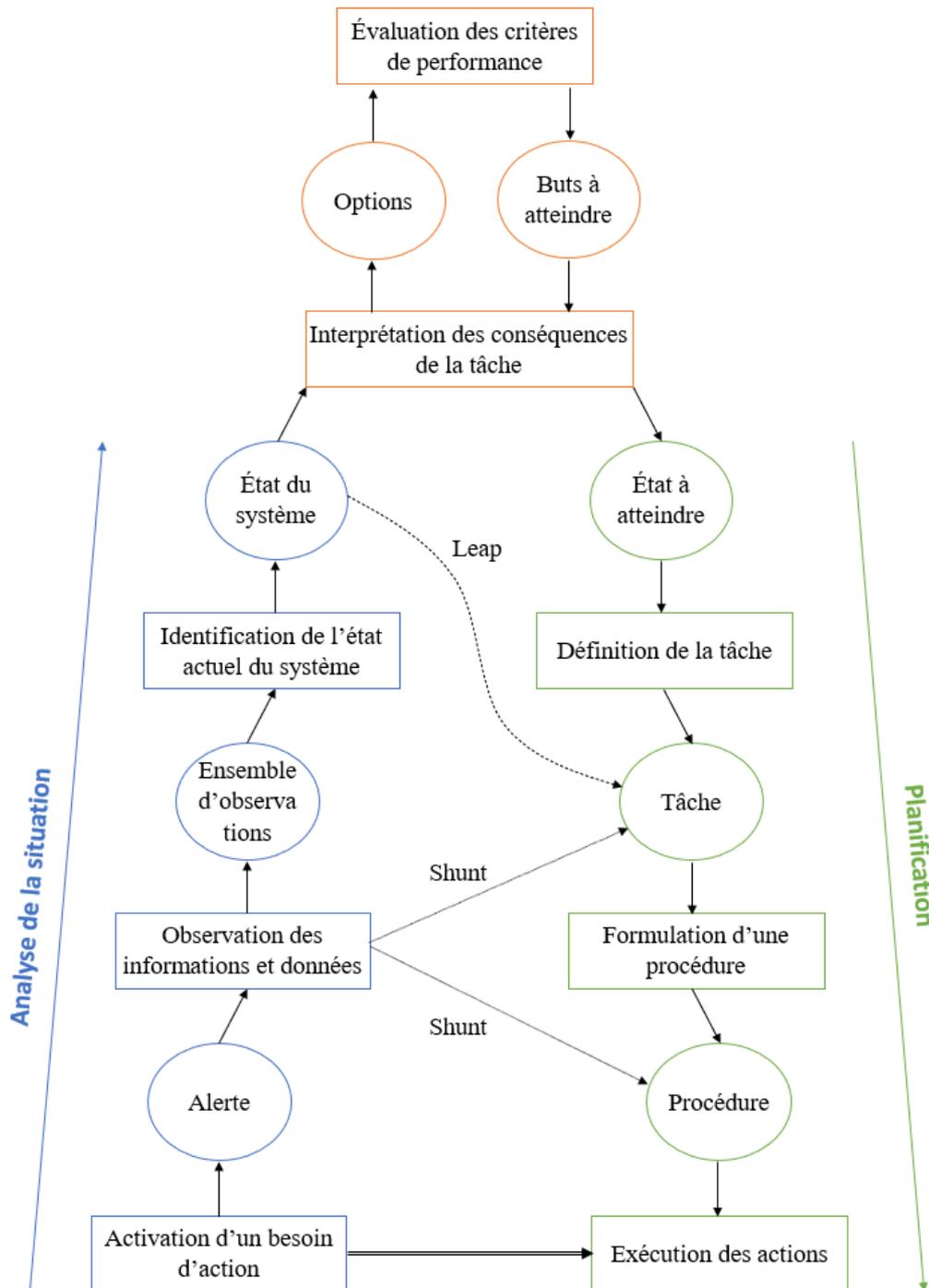


Figure 5 : Structure classique de l'échelle de décision.

Elle se compose de 3 parties distinctes : partie haute (orange) concernant les buts de la tâche, la partie gauche (bleue) concernant la tâche de contrôle nécessaire à la compréhension du système, la partie droite (verte) concernant l'exécution des étapes planifiées pour atteindre l'objectif souhaité.

Les rectangles représentent des états de traitement de l'information, les cercles sont des états de connaissance résultants de ce traitement. Les flèches pleines illustrent le raisonnement rationnel et représentent les comportements basés sur les connaissances (KBB). Les raccourcis de type « shunt » et « leap » sont représentés en pointillés et correspondent aux comportements basés sur les règles (RBB). La double flèche reliant les cases activation et exécution du modèle représente les comportements basés sur les compétences (SBB).

La phase d'analyse basée sur l'échelle de décision permet donc d'identifier quelles sont les exigences en termes d'informations, de connaissances, et en termes d'étapes à suivre dans la réalisation des tâches pour contrôler un système complexe identifié. À titre d'exemple, des études focalisées sur ConTa ont permis d'étudier les mécanismes de prises de décision dans des domaines spécifiques tels que le domaine médical et les situations de triage (Bisantz & Burns 2009, p155), le domaine ferroviaire et la sécurité aux passages à niveau (Mulvihill et al. 2016), le domaine sportif (Salmon et al. 2010, p85), le domaine de la sécurité routière (Cornelissen et al. 2013).

Néanmoins et malgré de nombreuses applications, WDA et ConTa semblent posséder certaines limites importantes à détailler.

3. Limites et solutions alternatives

a) Limites

Bien que la hiérarchie d'abstraction, la dimension de décomposition et l'échelle de décision aient été largement appliquées à des domaines multiples, ces outils d'analyse semblent présenter certaines limites. Après avoir exposé ces limites, nous mettrons en évidence quelques solutions alternatives existantes ayant pour but de les contrer.

i. À propos de l'espace d'abstraction et décomposition

➤ ***La hiérarchie d'abstraction présente des problèmes conceptuels et méthodologiques***

Dans son article, Lind (2003) identifie toute une série de problèmes propres à l'espace d'abstraction et de décomposition. Nous pouvons citer notamment :

- Des problèmes liés à l'acquisition des connaissances nécessaires pour remplir la hiérarchie d'abstraction. En effet, il n'existe pas de procédure destinée à aider l'analyste dans sa recherche d'information. L'obtention de ces informations nécessitent un long travail d'interview, d'analyse de documents pour tenter d'identifier clairement quels sont les buts, objectifs, fonctions d'un système. De plus, ces informations peuvent être inaccessibles et les ingénieurs interviewés peuvent ne pas être en mesure d'expliquer tous les choix de conception qui, parfois, reposent plus sur des pratiques internes que sur des concepts d'ingénierie clairement identifiables.
- Des problèmes liés à la construction et la validation des modèles. Comme le souligne Vicente dans son ouvrage consacré à la CWA (Vicente 1999b, p164), les 5 niveaux de la hiérarchie d'abstraction ont été jugés utiles pour décrire les systèmes de contrôle des procédés tels que les centrales soumises aux lois de la thermodynamique. Bien que ces 5 niveaux aient été appliqués à de nombreux domaines, Vicente souligne qu'il n'y a aucune raison de penser que tous les

domaines de travail doivent être modélisés au regard de ces 5 niveaux d'abstraction. Un problème connexe réside donc dans l'absence de critères explicites permettant de choisir le nombre de niveaux appropriés et leur pertinence au regard d'un domaine. Au-delà du nombre de niveaux pertinents, la terminologie proposée pour décrire ces niveaux semble problématique. En effet, les dénominations moyens-fins et partie-tout à la base de la AH, ainsi que les différents niveaux d'analyse sont des concepts généraux difficilement dissociables. Lind (2003) souligne ainsi que le concept de *fonction* est délicat car il peut avoir différents sens. Il est difficile de dissocier les fonctions physiques, des fonctions abstraites, des fonctions générales. De plus, les dénominations couramment utilisées (i.e. buts fonctionnels, fonctions abstraites, fonctions généralisées, fonctions physiques et formes physiques) ont été modifiées et un nouvel ensemble de labels a été proposé par Rasmussen : « buts fonctionnels », « valeurs et mesures prioritaires », « fonctions liées aux buts », « processus liés aux objets » et « objets physiques » (Reising 2000 ; Naikar et al. 2005). Malgré les modifications de labels, Naikar et al. (2005) conseillent aux analystes de sélectionner eux-mêmes les intitulés de la AH et d'utiliser une terminologie propre au domaine étudié. Hajdukiewicz et al. (1998) utilisent par exemple des labels propres au domaine de travail de l'anesthésie (i.e. buts, équilibres, processus, physiologie, anatomie). Ces multiples possibilités sémantiques ainsi que les confusions qu'elles soulèvent rendent la modélisation dépendante des choix de l'analyste. Dès lors que les intitulés ou le nombre de niveaux diffèrent, la comparaison et la validation des modèles se complexifient.

- Des problèmes liés à la place accordée aux systèmes de contrôle ou systèmes automatiques dans l'analyse du domaine de travail. En effet, dans la définition donnée par Vicente (1999b), la AH représente la structure du système contrôlé indépendamment de l'opérateur, des automatisations, des événements, des tâches ou des interfaces. Avec cette définition, l'auteur semble exclure les systèmes automatiques et les systèmes de contrôle de la AH. Autrement dit, le système automatique est considéré comme un outil capable d'accomplir des tâches de contrôle au sein des contraintes définies par la AH, plutôt que faisant partie intégrante du domaine à contrôler. Cependant, Naikar et al. (2005) suggèrent que « les systèmes de contrôle ne permettent pas seulement de contrôler un domaine de travail mais font aussi l'objet d'un contrôle ». En effet, le système automatique contrôle certains aspects du domaine, mais l'automatisation est elle-même sous le contrôle de l'opérateur. Par conséquent, il peut s'avérer pertinent que les systèmes de contrôle, eux-mêmes contrôlés par des opérateurs humains, soient inclus dans la AH, surtout lorsque la première phase d'analyse WDA se veut modéliser la structure profonde de l'objet de contrôle du domaine (Burns et al. 2005 ; Bisantz & Mazaeva 2009 ; Vicente 1999b, p179).

Cette problématique touche particulièrement le domaine du soin médical et les systèmes biologiques au sein des quels le contrôle est, par nature, imbriqué dans le système et intrinsèque au domaine. Les travaux de Miller & Sanderson (2000) ont soulevé cette problématique dans le

contexte de l'étude des unités de soins intensifs à l'hôpital. Sur la base de travaux précédents appliquant la AH au domaine de soin (Sharp & Helmicki 1998 ; Hajdukiewicz et al. 1998), les auteurs concluent que la AH n'est pas appropriée pour modéliser des processus biologiques ayant des systèmes de contrôle imbriqués. En effet, un patient est un système vivant autonome capable d'assurer le contrôle de ses propres fonctions biologiques et physiologiques. Dans le cadre de l'analyse du travail, le patient est à la fois le domaine de travail et son propre contrôleur. En ne prenant pas en compte les systèmes de contrôle dans l'analyse du domaine, la AH est inadaptée dès lors que « domaine » et « contrôle » sont imbriqués.

➤ ***La AH ne semble pas adaptée aux systèmes intentionnels (vs. Systèmes causaux)***

Un système est dit causal lorsqu'il est gouverné par les lois de la Nature (e.g. la physique, la chimie, la thermodynamique). À titre d'exemple, les centrales électriques ou les barrages hydrauliques sont des systèmes causaux. Au sein de ces systèmes, les liens entre les buts, les fonctions et les objets sont stables et leurs comportements peuvent être prédits sur la base des lois de la Nature. Par exemple, l'eau se transforme en glace dès lors que la température avoisine 0°C et se transforme en vapeur dès lors que la température approche 100°C. Ces transformations ou changements d'états sont prévisibles sur la base des lois de la physique. Une absence de vapeur dans un compartiment censé en contenir, peut, par exemple, mettre en évidence une défaillance du système de réchauffement. Ainsi dans les systèmes causaux, l'identification d'un composant défaillant est possible en utilisant les liens structuraux unissant les différents niveaux de la AH. Ces liens étant couplés physiquement et modélisables mathématiquement sur la base des lois de la nature (Wong et al. 1998). Comme le soulignent Wong et al. (1998), les systèmes causaux sont également statiques dans le sens où leurs composants et leurs ressources ne bougent pas spatialement (leurs emplacements restent statiques). Autrement dit, une turbine à vapeur dans une centrale électrique sera toujours au même endroit et les relations que la turbine entretient avec les composants voisins, tels que le circuit de refroidissement ou le réservoir d'eau, seront toujours les mêmes. Identifier le but général d'un système, identifier les fonctions et les objets qui vont permettre l'atteinte de ce but, comprendre comment les composants de ce système sont reliés entre eux et quelles seront les conséquences d'une défaillance d'un composant X sur un composant Y, sont des étapes indispensables pour comprendre la complexité d'un système causal. Une fois que la structure profonde d'un tel système est identifiée, la AH permet de la rendre visible aux opérateurs pour faciliter le contrôle.

Cependant lorsqu'il s'agit d'un système intentionnel, les apports de la AH sont limités. En effet, les systèmes intentionnels sont caractérisés par des pratiques sociales, organisationnelles et des conventions plutôt que par des lois physiques (Roth & Bisantz 2013, p241). Comme évoqué précédemment, les systèmes intentionnels sont des systèmes au sein desquels l'organisation interne change couramment de sorte à répondre aux exigences situationnelles, aux buts et aux exigences de performance. Contrôler ces

systèmes revient à gérer les nombreux degrés de liberté et à s'adapter constamment aux évolutions situationnelles. Bien qu'il existe des lois sociales, il est difficile de prédire le fonctionnement de ce type de système (Rasmussen 1985). Adaptation et auto-organisation sont donc indispensables pour faire face à la complexité de ces systèmes. Dans ce cadre, l'utilisation de la AH soulève quelques questions.

Dans un système causal, la résolution d'un problème repose couramment sur l'identification du composant défaillant et son remplacement. Dans le cas d'une panne de voiture, un diagnostic permet d'identifier la pièce défectueuse avant la planification des actions nécessaires à son remplacement. Dans un système intentionnel, la problématique est différente. Il ne s'agit pas d'identifier ce qui ne fonctionne pas dans le système, il s'agit de savoir quelles sont les ressources humaines et matérielles disponibles et comment les organiser afin de répondre à la situation problématique (Wong et al. 1998). Dans ce cadre, l'identification de la structure profonde du système sur la base d'une décomposition fonctionnelle n'aide pas l'opérateur à identifier les ressources humaines et/ou matérielles, leurs localisations et comment les coordonner. Alors que la AH a fait ses preuves dans l'analyse et la conception de systèmes causaux dont le couplage repose sur des lois physiques prédictibles, cette approche ne semble pas parfaitement adaptée aux systèmes intentionnels définis par l'activité humaine (Wong et al. 1998).

➤ ***La hiérarchie d'abstraction représente le domaine comme un système stable, permanent et ne prend pas en compte la dynamique intrinsèque du domaine de travail.***

La hiérarchie de décomposition propose de décomposer le domaine de travail en composants et sous-composants constituant le domaine. C'est un moyen de décomposer un système complexe en plus petits morceaux plus facilement analysables. Cependant, la AH n'identifie pas le couplage dynamique entre le système et ses sous-systèmes (Lind 2003).

Quant à la hiérarchie d'abstraction, elle décompose le domaine en différents niveaux d'abstractions. Même si le niveau « fonctions généralisées » a pour but de décrire les processus dynamiques, la description faite dans le cadre de la AH ne constitue pas une réelle description de la dynamique présente dans le domaine. Par exemple, les fonctions généralisées (processus) présentées dans le tableau 2, concernant la hiérarchie d'abstraction d'un radiateur électrique, listent plusieurs fonctions dont « comparaison entre température attendue et température actuelle », et « arrêt du chauffage une fois la température atteinte ». Ces items décrivent des processus dynamiques mais n'expliquent pas, à proprement parlé, la dynamique sous-jacente au fonctionnement de ces processus. La AH permet uniquement de fournir une liste finie de fonctions, de processus dynamiques mais la modélisation finale du domaine de travail reste stable et statique.

Parce que la AH se veut être une méthode indépendante des événements, le modèle du domaine de travail produit par cette méthode n'évolue pas dans le temps. Cependant, sur la base des concepts défendus par la thermodynamique, il est possible de considérer le monde comme un système fermé soumis au principe irréversible de l'entropie. Le second principe de la thermodynamique stipule qu'un

système fermé tend systématiquement à se désorganiser, c'est-à-dire à accroître son degré d'entropie. En effet, dans la mesure où on laisse un système aller au hasard, il y a de grandes chances que ce système évoluera vers le désordre même si certaines forces se battent localement contre cette tendance naturelle grâce à l'auto-organisation (Prigogine 1996). Dans le cadre de l'analyse AH, on peut considérer que le domaine de travail qu'elle décrit est également soumis à des forces entropiques. Par exemple, un patient hospitalisé non surveillé verra son état de santé se détériorer. De la même manière, un avion non contrôlé aura tendance à s'écraser ou encore une maison non entretenue aura tendance à prendre la poussière. Contrôler un domaine de travail serait donc lié à la capacité des opérateurs à vaincre ces forces entropiques qui tendent à faire évoluer le domaine vers le désordre. Bubb (2006) montre ainsi que l'activité humaine peut être perçue comme un processus de mise en ordre qui va à l'encontre de la tendance naturelle de l'entropie. La compréhension de l'activité humaine devrait nécessiter la prise en compte des forces naturelles entropiques et les actions de contrôle qu'elles nécessitent.

En plus de cette dégradation naturelle des propriétés intrinsèques de l'environnement, l'activité humaine générée pour contrer cette entropie produit elle aussi du désordre qu'il faudra réguler. Par exemple, après avoir injecté des drogues, les anesthésistes doivent surveiller la réaction du patient. Après avoir utilisé du matériel, un nettoyage ou un rangement est nécessaire. Il faut donc distinguer la dynamique intrinsèque de l'environnement ou du domaine (i.e. le patient qui se dégrade) de la dynamique des opérateurs qui interagissent avec ce domaine (i.e. modification du domaine par l'activité).

La complexité du domaine est donc évolutive dans le temps. Comprendre la structure profonde du domaine nécessite de comprendre le couplage dynamique entre le processus physique de dégradation et le système de contrôle nécessaire pour le contrôler (Lind 2003). Il semble important que l'analyse du domaine de travail mette en évidence la dynamique qui gouverne le système si l'analyste souhaite comprendre la complexité de ce système.

➤ ***La hiérarchie d'abstraction ne permet pas d'identifier le risque et l'incertitude***

Rasmussen (1985) met en évidence qu'une représentation des liens moyens-fins via la AH est une condition préalable nécessaire pour modéliser et prédire les erreurs. Cependant, lorsqu'un domaine de travail est décrit comme un ensemble d'objets stables et permanents, accessibles par des chemins « moyens – fins » bien définis, les notions d'incertitude et de risque associés sont difficiles à décrire. Cet aspect est particulièrement problématique puisque l'analyse du domaine de travail vise à l'origine à fournir des informations permettant aux opérateurs de faire face à des situations de travail dégradées, imprévues dans lesquelles l'incertitude et le risque sont particulièrement élevés.

Il semble ainsi que la AH présente des problèmes méthodologiques et conceptuels fondamentaux qui soulèvent des questionnements. Les confusions méthodologiques qui en découlent poussent les analystes à s'adapter en modifiant eux-mêmes les caractéristiques des outils. Les mécanismes de

validation et de transposition des modèles sont alors difficiles. De plus, de par la nature des liens causaux qui composent la AH, cette dernière n'est pas adaptée pour analyser le risque et l'incertitude des situations. Il semble également que AH ne soit pas appropriée pour analyser les systèmes intentionnels, dynamiques, soumis à une dégradation naturelle (i.e. entropie) pour lesquels le contrôle ne repose pas sur des lois naturelles prédictibles mais sur la mise en place de comportements d'adaptation et d'auto-organisation (i.e. le domaine des soins critiques).

ii. À propos de l'échelle de décision

➤ ***L'échelle de décision présente des problèmes conceptuels et méthodologiques***

En accord avec les travaux de Read et al. (2015), l'étape d'analyse ConTa et l'échelle de décision sont, juste après la WDA et la hiérarchie d'Abstraction, les processus les plus utilisés dans la CWA. Malgré de nombreuses applications dans différents domaines (Mulvihill et al. 2016, ; McIlroy & Stanton 2011 ; Naikar et al. 2006 ; Burns et al. 2008 ; Elix & Naikar 2008 ; Cornelissen et al. 2013), Naikar et al. (2006) soulignent que l'étape d'analyse ConTa est limitée du fait d'un manque de directives méthodologiques et de cohérence théorique. De plus, et comme l'expliquent ces mêmes auteurs, Vicente définit l'analyse de l'activité comme des modes opératoires et des tâches de contrôle tandis que Rasmussen l'exprime en termes de domaine de travail et de prise de décision. Ces approches quelque peu différentes de l'activité génèrent des ambiguïtés théoriques et méthodologiques qui poussent certains auteurs à proposer des extensions conceptuelles et de nouvelles directives méthodologiques pour ConTa que nous aborderons ultérieurement (Naikar et al. 2006).

➤ ***L'échelle de décision est une méthode basée sur les contraintes cognitives***

Bainbridge (1997) distingue deux catégories d'approches concernant l'analyse de la tâche : les approches séquentielles et les approches contextuelles. Dans l'approche séquentielle, la tâche est perçue comme une séquence d'étapes de traitement que l'opérateur doit respecter. De nombreuses limites concernant les modèles séquentiels de la tâche ont été mises en évidence, notamment le manque de flexibilité pour retracer les degrés de liberté dont dispose l'opérateur ou encore le manque de sensibilité face aux contraintes contextuelles. Face à ces critiques, des modèles contextuels de la tâche ont été proposés (*Critical Decision Method* (Klein & Armstrong 2004 ; Suchman 1987) - *Cognitive Work Analysis* (Vicente 1999b)). Dans l'approche contextuelle, la tâche est perçue comme un choix fait parmi plusieurs processus en fonction du contexte. L'opérateur active alors des ressources cognitives pour faire face aux contraintes de l'environnement de travail, sans séquence spécifique prédéfinie.

L'échelle de décision est un cadre d'analyse dont la structure de base repose sur des étapes de traitement séquentielles. Malgré cela, l'échelle de décision permet d'intégrer les comportements flexibles, autrement dit ceux qui s'éloignent de la structure rigide du raisonnement rationnel, en modélisant les

raccourcis/heuristiques et en permettant d'initier et/ou terminer un processus à n'importe quel endroit de l'échelle et dans n'importe quel sens. Ainsi, le flux d'activité modélisé via l'échelle de décision n'a pas besoin de suivre une séquence linéaire, peut tenir compte de divers points de départ et de fin, et peut se produire de droite à gauche (Naikar et al. 2006). Néanmoins, même si ces particularités permettent de modéliser les comportements flexibles, la structure de l'échelle de décision ne repose que sur des spécifications issues des contraintes cognitives (Morineau et al. 2009). En effet, l'échelle de décision a été développée initialement pour étudier les mécanismes de diagnostic en maintenance électronique. Le modèle se base alors sur les processus cognitifs relatifs à une tâche non dynamique, indépendante du contexte. En ce sens, l'échelle de décision ne s'inscrit pas vraiment dans une approche contextuelle (Bainbridge 1997).

➤ ***WDA et ConTa sont deux étapes complémentaires dont la mise en relation reste difficile***

Au sein des systèmes sociotechniques complexes, le domaine de travail n'est pas la seule source de contrainte. Il existe également des contraintes liées à la tâche de contrôle. Les deux premières étapes de la CWA, à savoir l'analyse du domaine de travail (WDA) et l'analyse de la tâche de contrôle (ConTa) constituent deux étapes complémentaires pensées pour faire le lien entre contraintes écologiques et contraintes cognitives. En effet, la première décrit les contraintes imposées par le système étant contrôlé, alors que la seconde décrit les contraintes imposées par les activités de traitement de l'information associées au contrôle (Vicente 1999b, p193). Les outils respectifs de ces deux étapes, à savoir la hiérarchie d'abstraction et l'échelle de décision, sont donc censés entretenir une relation forte, inspirée de la relation dynamique entre perception et action à l'origine du concept d'affordance (Gibson 1979). La figure 6 illustre un comparatif entre la relation entretenue entre AH et DL et le couplage dynamique entre perception et action.

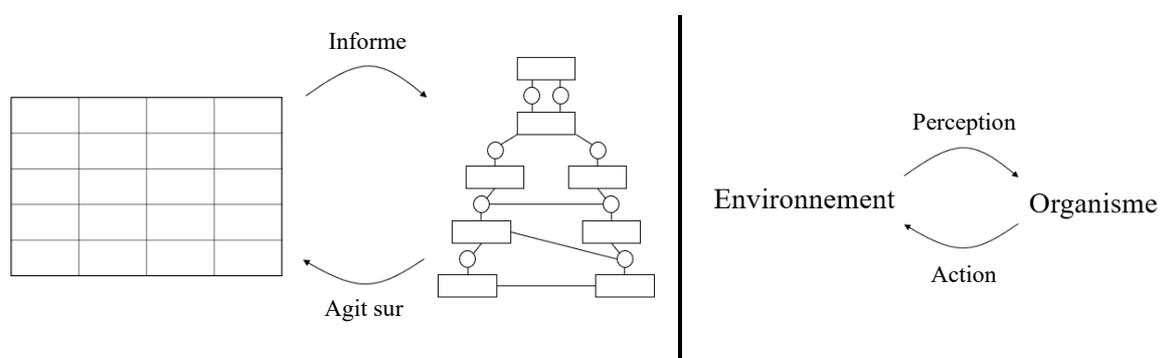


Figure 6 : Relation entre AH - DL et le couplage dynamique perception - action.

Illustrations des relations entretenues entre la hiérarchie d'abstraction et l'échelle de décision (à gauche), comparées à la boucle dynamique perception-action (à droite) proposée par Gibson (1979). Inspirées de la psychologie écologique et de la notion d'affordance, les outils méthodologiques de la CWA se veulent entretenir une relation forte permettant de faire le lien entre contraintes écologiques propres au domaine et contraintes cognitives propres à l'opérateur.

Néanmoins, en pratique, la hiérarchie d'abstraction et l'échelle de décision sont deux outils de modélisation ayant des buts différents et dont la mise en relation est délicate. En effet, le concept d'affordance qui permet de faire le lien entre contraintes écologiques et contraintes cognitives (Gibson 1979) n'est pas directement capturé par l'échelle de décision de Rasmussen. Les affordances existent indépendamment dans l'environnement mais leur caractère perceptible dépend de l'état mental dans lequel se trouve l'opérateur (Wells 2002 ; Morineau et al. 2009). Modéliser séparément les affordances et les états mentaux des opérateurs ne permet pas de prendre en compte la boucle dynamique entre perception et actions, autrement dit la dynamique entre les informations provenant de l'environnement et l'état mental actuel de l'opérateur.

➤ ***L'échelle de décision permet d'identifier les informations nécessaires à l'atteinte d'un but précis mais ne modélise pas les conflits potentiels pouvant exister pour des buts multiples et simultanés***

La phase d'analyse de la tâche permet de modéliser une échelle de décision pour chaque fonction généralisée ou chaque processus préalablement identifié dans la hiérarchie d'abstraction. Néanmoins, lorsque les fonctions généralisées ou processus sont très nombreux, la multiplication des échelles de décision peut être coûteuse en temps et les analystes ont tendance à sélectionner, parmi l'ensemble des fonctions identifiées, celles qui feront l'objet d'une analyse plus approfondie. Par exemple, dans leur étude consacrée aux sorties extravéhiculaires réalisées lors des vols spatiaux, Miller et al. (2017) identifient 13 fonctions généralisées et développent une échelle de décision pour seules 2 de ces fonctions. Dans la même logique, dans leur étude consacrée aux comportements des usagers de la route aux intersections, Cornelissen et al. (2013) identifient 7 fonctions généralisées et développent 1 échelle de décision. L'échelle de décision ne permet qu'une analyse compartimentée des activités et mécanismes cognitifs impliqués dans un nombre limité de fonctions généralisées ou processus.

De plus, chaque échelle de décision est dépendante d'un but. Autrement dit, les mécanismes cognitifs impliqués dans la prise de décision sont traités séparément pour chacun des buts. Cependant, et comme c'est le cas pour les systèmes faiblement couplés, le problème évolue de façon dynamique et l'opérateur doit souvent répartir les ressources de traitement entre plusieurs tâches réalisées simultanément (Bainbridge 1997). Il se peut également que l'activation d'une tâche B soit dépendante de la réalisation d'une tâche précédente A. Les buts se superposent alors et dépendent d'une dimension temporelle qui va contraindre l'opérateur dans son activité. Les processus de décisions relatifs à un but peuvent se superposer, s'effectuer en parallèles d'autres processus ayant des buts différents, peuvent être dépendants du temps et des relations de dépendances qu'entretiennent les buts entre eux. Les caractéristiques de DL ne permettent pas de modéliser ces contraintes dynamiques et temporelles qui jouent un rôle important dans l'organisation et la planification des comportements.

➤ ***L'échelle de décision ne permet pas de modéliser les comportements d'anticipation et de prédiction***

La structure de base de l'échelle de décision débute dès lors qu'un besoin d'agir est activé (Figure 5). Autrement dit, l'analyse des processus cognitifs sur la base de DL est possible une fois que le problème a été perçu et que des comportements orientés vers la régulation de ce problème sont déclenchés.

Cependant, et comme l'explique Bainbridge (1997), dans certaines situations les prédictions ou l'anticipation visant à éviter que les problèmes surviennent sont bien plus efficaces que la régulation du problème une fois le besoin d'action activé. En effet, dans les systèmes complexes et particulièrement dans les systèmes faiblement couplés, le domaine de travail évolue de façon continue en parallèle de la réflexion des opérateurs et les conséquences de leurs actions peuvent avoir des effets retardés. Les comportements de prédiction et d'anticipation sont alors indispensables pour prédire les futurs états du système et proposer des actions appropriées au contexte. L'échelle de décision ne prend pas en compte ces mécanismes réalisés en amont de l'activation d'un besoin d'action.

➤ ***L'échelle de décision se focalise sur un individu***

Initialement réalisés en laboratoire, les travaux sur l'étude de la cognition humaine visent à mettre en place des situations expérimentales permettant d'analyser l'impact de certaines variables sur le comportement des individus au sein d'un environnement fortement contrôlé. En sciences cognitives, par exemple, les travaux sur la mémoire (Miller 1956), sur l'attention (Broadbent 1958) ou encore la vigilance (Macworth 1950) ont permis d'exprimer des modèles du comportement humain et d'approfondir les connaissances relatives aux fonctionnements des mécanismes cognitifs en environnement contrôlé. Malgré l'importance de ces études, une critique persiste : l'expérimentation en laboratoire ne représente pas la « vraie vie » et la transposition des résultats du laboratoire à la vie réelle est limitée.

Plus tard, d'autres travaux permettent de voir la cognition comme un processus situé et distribué dont l'analyse nécessite des situations de travail réelles. Les travaux de Hutchins (1995) ont montré notamment que les principes des sciences cognitives pouvaient s'appliquer aux systèmes et que l'activité cognitive n'était pas limitée à un individu et se partageait entre les systèmes et les agents. En effet les situations à un opérateur ne sont pas représentatives des situations de la vie courante. Les individus, rarement seuls, appartiennent à un écosystème, un environnement, une équipe de travail qui peuvent influencer les comportements. Beaucoup de travaux sur la cognition partagée et située se développent alors. Nous pouvons citer les travaux sur la cognition distribuée (Hutchins 2001 ; Grundgeiger et al. 2010, 2014), la conscience de la situation (Endsley 1995, 2000), ou encore les modèles mentaux partagés (Gorman et al. 2005 ; Cannon-Bowers et al. 1993). Avec l'échelle de décision, Rasmussen tente d'analyser des situations de travail réelles telles que la résolution de problème en maintenance électronique. Néanmoins, la modélisation se focalise sur l'étude d'un seul opérateur. Les processus

cognitifs de prise de décision au sein d'une équipe de travail ne peuvent être clairement capturés via l'échelle de décision.

Ainsi, et de la même façon que pour la hiérarchie d'abstraction, l'échelle de décision présente des problèmes conceptuels et méthodologiques qui, de par les ambiguïtés que ces problèmes génèrent, poussent certains auteurs à repenser les fondements et outils de la CWA. Telle qu'elle est proposée à l'origine, l'échelle de décision est un outil d'analyse qui ne prend pas en compte les particularités du contexte dans lequel se déroule l'activité et ne repose que sur des spécifications issues des contraintes cognitives. De plus cet outil ne modélise pas les comportements d'anticipation et prédiction pourtant indispensables au contrôle des systèmes sociotechniques dynamiques et complexes. L'échelle de décision est une modélisation à l'échelle d'un opérateur, or les situations réelles mettent en interaction plusieurs individus dans un environnement changeant.

Pour résumer, la méthode CWA possède des caractéristiques méthodologiques qui font de son cadre conceptuel, un cadre qui semble pertinent pour l'étude des systèmes faiblement couplés. Il est vrai que dans sa description, la CWA permet de mettre en évidence l'importance des contraintes et des degrés de liberté pour assurer le contrôle du système, et d'envisager l'activité comme un champ de possibilités au sein duquel les opérateurs naviguent pour répondre aux exigences situationnelles. Ainsi, la nature dynamique des contraintes, les degrés de liberté nombreux, l'ensemble des trajectoires possibles à l'atteinte des objectifs, qui sont des caractéristiques fortes des systèmes faiblement couplés, pourraient être capturés par la CWA. Néanmoins, une étude plus approfondie révèle que la CWA possèdent des limites conceptuelles et méthodologiques remettant en question sa validité face à l'analyse de ce type de système. En effet, ses outils méthodologiques (i.e. AH et DL) fournissent une représentation du système de travail relativement stable, statique, essentiellement basée sur des liens causaux bien définis réduisant leurs pertinences pour capturer les aspects dynamiques et incertains dans l'évolution du système. La question de la coordination des ressources humaines et matérielles disponibles, celle de la gestion des conflits potentiels existants dans la poursuite des buts ne sont pas prises en compte dans l'analyse. Or, contrôler un système faiblement couplé nécessite d'adapter les comportements en temps réel pour faire face aux situations imprévues et maintenir un équilibre entre les objectifs à atteindre et les ressources humaines et matérielles disponibles. C'est le cas, par exemple, lors d'une urgence médicale où la détresse physiologique du patient est soudaine, rapide, et imprévue. Les soignants doivent alors s'organiser et exploiter les ressources disponibles pour mettre en place des soins adaptés. Ainsi, il est possible de remettre en question la pertinence de la CWA face à l'analyse des systèmes faiblement couplés. Avant de présenter la méthode hCWA comme une extension de la CWA adaptée à l'analyse des systèmes faiblement couplés, nous évoquerons rapidement quelques-uns des efforts méthodologiques fournis pour contrer les limites évoquées.

b) Solutions alternatives

Pour faire face à ces critiques, certains auteurs tentent de proposer des solutions alternatives. Ces solutions se présentent sous la forme de versions améliorées des outils existants ou de nouveaux modèles. Parmi les solutions apportées pour contrer les limites de la AH, nous pouvons citer la méthode MFM (Lind 1994), la structure du diagnostic récursif (Miller & Sanderson 2000) ou encore la technique de multiplication des hiérarchies pour étendre l'analyse aux ressources et aux notions de risques (Burns et al. 2008). Malgré les efforts de ces propositions, l'efficacité de la hiérarchie d'abstraction pour l'étude des systèmes faiblement couplés au sein des quels risque, incertitude, autoadaptation sont des caractéristiques fortes, reste limitée. Ces nouvelles propositions ne permettent toujours pas de mettre en évidence le couplage dynamique entre un domaine de travail et l'organisation nécessaire pour contrôler ce domaine. De plus, la dynamique intrinsèque du domaine ainsi que l'entropie générée par l'activité des opérateurs ne sont pas modélisées. Cependant, dynamique, incertitude, risque et couplage entre différentes parties d'un système constituent les quatre dimensions de la complexité selon Woods (1998). L'utilisation de la AH pour analyser et comprendre les systèmes intentionnels faiblement couplés ne semble pas permettre de saisir toute la complexité de ce type de système.

Il en est de même concernant l'échelle de décision pour laquelle la méthode des échelles en chaînes (Rasmussen 1994), le cadre d'activité contextuel (Naikar et al. 2006), ou encore la méthode des roues décisionnelles (« Decision Wheel » - Ashoori & Burns 2011) ont été proposées pour pallier aux limites de cet outil. Ces méthodes alternatives mettent en évidence un besoin fort de prendre en compte, dans le cadre de l'analyse CWA, la dimension partagée et collaborative du travail. En effet, ces travaux montrent qu'une contrainte supplémentaire est pertinente, celle de l'organisation du travail en équipe (Ashoori et al. 2014). La composition, la taille, la dispersion géographique de l'équipe vont effectivement contraindre les opérateurs et spécifier les possibilités en termes de contrôle. Cependant, ces modèles alternatifs se basent sur les fonctions préalablement identifiées dans la hiérarchie d'abstraction. Les échelles de décision ou le cadre d'activité contextuel reposent sur une liste finie de buts, de fonctions, de processus et fournissent une représentation stable et statique du domaine de travail. De plus, et dans le cas où les fonctions sont nombreuses, les combinaisons possibles peuvent avoir un nombre très élevé et la modélisation peut devenir impossible.

Tous ces aspects poussent certains auteurs à repenser l'étape d'analyse du domaine dans le but de l'adapter à la complexité des systèmes faiblement couplés ainsi que leur caractéristique dynamique et à développer de nouveaux outils méthodologiques adaptés. C'est notamment ce que proposent Morineau & Flach (2019) au travers la méthode hCWA que nous présenterons maintenant.