



UNE ANALYSE HISTORIQUE ET CONCEPTUELLE DES CONCEPTS DE CHARGE COGNITIVE DANS LA THÉORIE DE LA CHARGE COGNITIVE DE JOHN SWELLER

Mémoire présenté comme exigence partielle
de la maîtrise en formation à distance

Par Éric Chamberland

8 novembre 2023



<https://r-libre.telug.ca/3087>

Sommaire

La théorie de la charge cognitive (TCC) est une théorie de l'enseignement présentée initialement par le chercheur John Sweller dans les années 1980. Elle vise à adapter l'enseignement aux limites de capacité de la mémoire travail. Elle s'appuie sur différents construits théoriques pour expliquer des phénomènes de charge cognitive qui influencent l'apprentissage. Les construits de départ ont évolué et se sont différenciés au fil de l'évolution de la TCC : certains se sont scindés, d'autres se sont ajoutés, et la plupart ont été redéfinis pour tenir compte de nouveaux résultats empiriques ou de certaines considérations théoriques. Plusieurs chercheurs ont critiqué la conceptualisation des construits de charge cognitive. La présente recherche présente une analyse historique et conceptuelle de cinq construits de charge cognitive à travers les articles théoriques publiés par John Sweller, ainsi que des articles d'autres chercheurs qui ont critiqué la TCC. Les cinq construits analysés sont : la charge cognitive, la surcharge cognitive, la charge cognitive inutile, la charge cognitive intrinsèque et la charge cognitive pertinente. L'analyse historique décrit l'évolution de la TCC en sept périodes marquées chacune par des changements conceptuels ou théoriques majeurs. Elle révèle qu'à l'origine, John Sweller estimait que la charge cognitive résultait des *activités de traitement* de l'information, alors que dans la version contemporaine de la TCC, il estime qu'elle s'explique essentiellement par la *quantité d'information* à traiter simultanément. L'analyse conceptuelle révèle plusieurs enjeux conceptuels majeurs, à travers de nombreuses incohérences, contradictions, omissions et approximations dans la conceptualisation des cinq construits. 1) Une considération insuffisante des détails du fonctionnement de la mémoire de travail dans l'évaluation de la charge cognitive, et particulièrement la faible place faite au rôle des opérations mentales et à la distribution de la charge cognitive dans le temps et entre des sous-tâches. 2) Une utilisation incohérente de la terminologie. 3) Une confusion fréquente des effets de la charge cognitive inutile et des effets de la surcharge cognitive. 4) Une incohérence dans la façon de définir la charge cognitive inutile et intrinsèque, définies sur des bases conceptuelles différentes. 5) Des problèmes multiples dans la conceptualisation et la définition des trois types de charge cognitive : intrinsèque, inutile et pertinente. 6) Des contradictions dans la façon d'évaluer la charge cognitive en termes parfois absolus et parfois relatifs. De nouvelles définitions des construits analysés et de construits connexes sont proposés, de même que des pistes de recherche future pour tester ces propositions, notamment le recours à l'analyse de tâche cognitive.

Abstract

Cognitive load theory (CLT) is an instructional theory originally introduced by researcher John Sweller in the 1980's. CLT aims at adapting instruction to the capacity limitations of working memory. It relies on several theoretical constructs to explain cognitive load phenomena that have an influence on learning. The early constructs have evolved and differentiated as the theory matured: some have split, new ones have been introduced, and most have been redefined over time to account for new empirical results or for theoretical considerations. Many researchers have criticized the conceptualization of the cognitive load constructs. This research presents both a historical and a conceptual analysis of five cognitive load constructs throughout the theoretical papers written by John Sweller, as well as through other authors who have criticized CLT. The five constructs that have been analysed are: cognitive load, cognitive overload, extraneous cognitive load, intrinsic cognitive load, and germane cognitive load. The historical analysis describes the evolution of CLT over seven periods, each one beginning with a major conceptual or theoretical change. The historical analysis shows that at the origin of CLT, John Sweller believed that cognitive load resulted mostly from the acts involved in the *processing* of information, while in the current version of CLT, he thinks it is better explained by the *quantity* of information being processed simultaneously. The conceptual analysis reveals many conceptual issues, as several inconsistent statements, contradictions and approximations have been noted in the conceptualization of the five constructs. 1) An insufficient consideration of the details of working memory operation in the estimation of cognitive load, and specifically the overlooking a) of how the specific mental activities involved in a task might contribute to its cognitive load and b) of the distribution of cognitive load over time and among subtasks. 2) An inconsistent use of the terminology. 3) A frequent conflation of the effects of extraneous cognitive and the effects of cognitive overload. 4) An inconsistency in the way extraneous and intrinsic cognitive load are defined, each being defined on a different conceptual basis. 5) Multiple problems in the conceptualization and definition of the three types of cognitive load: intrinsic, extraneous and germane. 6) Contradictions in the way to estimate cognitive load: sometimes in an absolute way and at other times in a relative way. New definitions are proposed for the five analysed constructs and for some closely related constructs, as well as suggestions for future research, including more research involving cognitive task analysis within the CLT framework.

Table des matières

Chapitre 1 – Introduction.....	14
Chapitre 2 – Problématique.....	19
2.1. Survol de l'évolution de la TCC	20
2.1.1. Un exemple d'effet de charge cognitive : l'effet de non-spécification du but	21
2.1.1.1. L'analyse moyens-fin et la charge cognitive	23
2.1.2. Les étapes d'évolution de la TCC selon Moreno et Park.....	23
2.1.2.1. Étape I : la charge cognitive inutile en situation de résolution de problèmes	24
2.1.2.2. Étape II : la charge cognitive intrinsèque et la première hypothèse d'additivité	25
2.1.2.3. Étape III : la charge cognitive pertinente et la deuxième hypothèse d'additivité	26
2.1.2.4. Étape IV : l'interprétation évolutionniste de la TCC	28
2.1.3. Changements après l'étape IV de Moreno et Park.....	28
2.2. Situation de la TCC dans champ des sciences de l'éducation.....	29
2.3. Les critiques de la TCC	30
2.4. Les problèmes de conceptualisation du concept de charge cognitive.....	34
2.4.1. Les indices qu'une théorie souffre de faiblesses conceptuelles	36
2.5. Un problème théorique de la TCC à analyser.....	37
Chapitre 3 – Question de recherche et objectifs de la recherche.....	38
3.1. Question de recherche	38
3.2. Objectifs de la recherche.....	39
3.3. Retombées attendues de la recherche	39
Chapitre 4 – Méthodologie	40
4.1. Collecte de données : stratégie de recherche.....	43

4.1.1. Volet 1 : recherche de littérature ciblée	49
4.1.2. Volet 2 : ajout de nouvelles sources pertinentes en cours de recherche	52
4.2. Analyse historique (descriptive).....	59
4.3. Analyse critique (interprétative)	60
4.4. Nouvelles définitions des concepts de charge cognitive	61
4.5. Note sur les citations	61
4.5.1. Numéros de pages des citations en paraphrase	62
4.5.2. Forme des citations dans la langue originale anglais	62
4.5.3. Signalement de l'accentuation de passages dans le texte original cité.....	62
4.5.4. Signalement de l'ajout d'accentuation de passages	63
4.5.5. Discussion d'un même article pendant une longue section de texte.....	63
Chapitre 5 – Analyse historique	64
5.1. Périodisation de l'historique du développement de la TCC.....	64
5.2. Le contexte scientifique dans lequel émerge la TCC	66
5.3. Période 1 : l'hypothèse de la lourde charge cognitive avant la formulation de la TCC (1982+).....	69
5.3.1. L'efficacité et l'efficience d'une stratégie sont relatives à l'objectif poursuivi.....	71
5.3.2. Les concepts de charge cognitive dans la période 1	72
5.3.2.1. La charge cognitive	72
5.3.2.2. La surcharge cognitive	72
5.3.2.3. La lourde charge cognitive : une pression sur les capacités de traitement cognitif.....	72
5.3.2.4. L'absence de définitions	73
5.4. Période 2 : la formulation de la TCC centrée sur la lourde charge cognitive (1988+)	74
5.4.1. La première expérience de mesure de la CC	76
5.4.2. La deuxième expérience de mesure de la CC.....	80
5.4.3. Les concepts de charge cognitive dans la période 2.....	82
5.4.3.1. La charge cognitive	82
5.4.3.2. La surcharge cognitive	83

5.5. Période 3 : l'introduction du concept de charge cognitive inutile et le « baptême » de la TCC (1990+)	85
5.5.1. Les concepts de CC à la période 3	87
5.5.1.1. La charge cognitive	87
5.5.1.2. La surcharge cognitive	87
5.5.1.3. La charge cognitive inutile	87
5.5.1.4. La charge cognitive intrinsèque	88
5.6. Période 4 : l'intégration du concept de charge intrinsèque et du modèle de l'architecture cognitive à la TCC (1993+).....	90
5.6.1. Les concepts de CC à la période 4	92
5.6.1.1. La charge cognitive	93
5.6.1.2. La surcharge cognitive	93
5.6.1.3. La charge cognitive inutile	94
5.6.1.4. La charge cognitive intrinsèque	94
5.7. Période 5 : l'intégration de la charge cognitive pertinente à la TCC (1998+).....	96
5.7.1. Les concepts de CC à la période 5	99
5.7.1.1. La charge cognitive	99
5.7.1.2. La surcharge cognitive	100
5.7.1.3. La charge cognitive inutile	101
5.7.1.4. La charge cognitive intrinsèque	101
5.7.1.5. La charge cognitive pertinente.....	102
5.8. Période 6 : l'interprétation évolutionniste de la TCC (2003+).....	104
5.8.1. Les connaissances biologiquement primaires	106
5.8.2. Les connaissances biologiquement secondaires	106
5.8.3. Des prises de position sur certains aspects de la cognition humaine	106
5.8.4. Débat entourant l'apprentissage par la découverte	107
5.9. Période 7 : la reconceptualisation de la TCC autour de l'interactivité entre éléments intrinsèques et inutiles (2010+)	108
5.9.1. L'interactivité entre éléments comme explication de la CC totale	109
5.9.2. La CCP réinterprétée comme les ressources de MdT consacrées à traiter la CCI	111
5.9.3. Réinterprétation des effets de CC	115

5.9.3.1. Réinterprétation des effets de CCE	115
5.9.3.2. Réinterprétation des effets de CCI.....	115
5.9.3.3. Réinterprétation des effets de CCP	115
5.9.3.4. Conclusion sur la réinterprétation de tous les effets de CC autour de l'interactivité entre éléments	116
5.9.4. Les concepts de CC à la période 7	117
5.9.4.1. La charge cognitive	117
5.9.4.2. La surcharge cognitive	118
5.9.4.3. La charge cognitive inutile	118
5.9.4.4. La charge cognitive intrinsèque	120
5.9.4.5. La charge cognitive pertinente.....	121
5.10. Conclusion de l'analyse historique	121

Chapitre 6 – Analyse critique..... 124

6.1. Qu'est-ce que la charge cognitive?	124
6.1.1. La contribution des opérations mentales à la CC	126
6.1.1.1. Le rôle des opérations mentales en mémoire de travail selon Cowan.....	130
6.1.1.2. Le rôle des opérations mentales dans la CC selon d'autres auteurs.....	135
6.1.1.3. L'approximation de la CC par les éléments interactifs	138
6.1.1.4. L'approximation par la CC totale plutôt que maximale	144
6.1.1.5. L'idée d'approximation chez d'autres chercheurs de la TCC	146
6.1.1.6. Un exemple d'approximation	147
6.1.1.7. Conclusion sur l'approximation de la CC par les éléments interactifs.....	148
6.1.2. La nature des éléments interactifs en MdT	149
6.1.2.1. Les problèmes de conceptualisation des éléments dans la TCC	149
6.1.2.2. Les opérations mentales sont-elles des éléments en MdT?.....	150
6.1.3. Confusion entre charge mentale et effort mental.....	155
6.1.4. Conclusion sur la nature de la charge cognitive	155
6.2. Confusion entre l'effet de la CCE et l'effet de la surcharge cognitive	156

6.3. Incohérences dans la façon de définir la CCI et la CCE	161
6.4. Les problèmes conceptuels avec la CCI.....	162
6.4.1. Le rôle des opérations mentales dans la CCI.....	162
6.4.2. La distribution temporelle de la CCI	163
6.4.3. Le caractère fixe de la CCI.....	164
6.4.4. L'éventualité que la CCI suffise à provoquer une surcharge cognitive	168
6.4.5. Conclusion sur les problèmes conceptuels associés au concept de CCI	169
6.5. Les problèmes conceptuels avec la CCE	169
6.5.1. La CCE serait parfois irréductible.....	170
6.6. Les problèmes conceptuels avec la CCP	170
6.7. Le caractère absolu ou relatif de la CC.....	171
6.8. Conclusion de l'analyse critique	174

Chapitre 7 – Nouvelles définitions, limites de la recherche,

implications pour l'enseignement et pistes futures de recherche

7.1. Les principes fondamentaux de la TCC.....	176
7.2. Nouvelles définitions des concepts de CC.....	177
7.2.1. Définition de la charge cognitive	178
7.2.2. Définition de la surcharge cognitive	178
7.2.3. Définition de la charge cognitive intrinsèque	178
7.2.4. Définition de la charge cognitive inutile	178
7.2.5. Définition de la charge cognitive pertinente.....	178
7.2.6. Définition de concepts pour les dimensions des types de charge cognitive	179
7.2.6.1. Définition de la charge mentale intrinsèque	180
7.2.6.2. Définition de l'effort mental intrinsèque	180
7.2.6.3. Définition de la charge mentale inutile	180
7.2.6.4. Définition de l'effort mental inutile	180
7.3. Nouvelles définitions de concepts connexes : les schémas et les éléments ...	181
7.3.1. Définition de schéma	181
7.3.2. Définition d'élément	181

7.4. Limites de la présente recherche.....	181
7.5. Implications pour la conception pédagogique et l'enseignement	182
7.6. Pistes de recherche future.....	183
7.6.1. L'analyse de tâche cognitive	183
7.6.2. La comparaison de la CCI de différentes tâches visant les mêmes apprentissage	184
7.6.3. La conduite d'analyses externes de la TCC	185
7.6.4. L'analyse de la littérature empirique à la lueur des nouvelles propositions	185
Chapitre 8 – Conclusion générale	186
Chapitre 9 – Références	190

Liste des tableaux

Tableau 4.1 – Liste des références de la revue exploratoire ayant permis de cibler la problématique et la question de recherche	43
Tableau 4.2 – Critères d'inclusion et d'exclusion des références	50
Tableau 4.3 – Textes de John Sweller retenus pour les analyses historique et conceptuelle, en ordre chronologique de publication	53
Tableau 4.4 – Textes d'autres auteurs que John Sweller ayant contribué aux analyses historique et conceptuelle, en ordre chronologique de publication	57
Tableau 5.1 – Données issues des simulations de John Sweller (Sweller, 1988, p. 272)	77
Tableau 6.1 – Séquences d'opérations mentales d'une tâche cognitive (Beckmann, 2010, p. 256)	136
Tableau 7.1 – Dimensions des types de charge cognitive.....	180

Liste des figures

Figure 4.1 – Résultats de la stratégie de recherche d'articles	49
Figure 5.1 – Correspondance entre les étapes d'évolution de la TCC selon Moreno et Park (2010) et la nouvelle périodisation proposée	66
Figure 5.2 – Représentation temporelle proportionnelle de la durée respective des étapes de Moreno et Park et des nouvelles périodes proposées	66
Figure 5.3 – Période 1 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes ..	69
Figure 5.4 – Période 2 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes ..	74
Figure 5.5 – Ordinogramme du modèle de résolution par analyse moyens-fins (Sweller, 1988, p. 269)	79
Figure 5.6 – Ordinogramme du modèle de résolution sans but spécifié. (Sweller, 1988, p. 271)	80
Figure 5.7 – Période 3 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes ..	85
Figure 5.8 – Période 4 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes ..	90
Figure 5.9 – Période 5 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes ..	96
Figure 5.10 – Période 6 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes	104
Figure 5.11 – Période 7 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes	108
Figure 5.12 – Relations entre CCI, CCE et CCP, avec ou sans surcharge.....	113
Figure 6.1 – L'entrée des informations et des opérations en MdT, inspiré et adapté de Cowan (2001, p. 95)	133
Figure 6.2 – Représentation schématique des informations et opérations en MdT selon le modèle de Cowan (2010).....	134
Figure 6.3 – Évolution de la CC d'une tâche où les éléments n'interagissent pas tous simultanément	145

Remerciements

Plusieurs personnes ont contribué à la réussite de ce projet, tant sur les plans personnel, académique, qu'administratif.

D'abord, sur le plan personnel j'aimerais remercier ma famille immédiate, mes trois amours : Sarah, Sofia et Eli, qui ont eux aussi beaucoup sacrifié pour me permettre de mener ce projet à terme. Je vous en suis immensément reconnaissant et je vous promets que je serai dorénavant plus présent et que je vais me reprendre pour le temps passé à « faire de la maîtrise ».

Ensuite, sur le plan académique, je dois dire toute l'importance des conseils et des ressources offerts par ma directrice de recherche, la professeure Béatrice Pudelko. En acceptant de me superviser pour un cours de lectures dirigées, elle a été témoin de l'origine de mon intérêt pour la théorie de la charge cognitive, et m'a suivi dans cette aventure jusqu'au mémoire. Elle a su m'aiguiller sur le plan méthodologique et m'aider à cerner la problématique et l'angle sous lequel aborder cette recherche. Elle m'a aussi orienté vers plusieurs références incontournables du domaine et a ainsi contribué non seulement à la réalisation du projet, mais aussi à mon développement intellectuel et professionnel. Au-delà des aspects académiques, j'ai beaucoup apprécié d'apprendre à connaître la personne derrière la professeure et je m'en trouve privilégié.

Toujours sur le plan académique, j'aimerais remercier les membres du jury qui ont évalué le mémoire pour leurs suggestions pertinentes et pour leurs bons mots. Le mémoire s'en trouve bonifié, et j'en retiens également des apprentissages importants.

Sur le plan administratif, je tiens à remercier toutes les instances qui ont fait preuve de souplesse pour autoriser mon parcours atypique à la maîtrise avec mémoire. Différents événements m'ont amené à allonger ce parcours et je n'aurais pas pu le compléter si les personnes en autorité n'avaient pas fait preuve de compréhension face à ma situation particulière. Avec le dépôt final de ce mémoire, j'espère vous donner raison d'avoir cru en moi et autorisé des délais et reports exceptionnels.

J'aimerais également souligner le travail de l'équipe de soutien de la TÉLUQ qui offre un encadrement exemplaire. Je remercie plus particulièrement Stéphanie

Larochelle de m'avoir « gardé à l'œil » à différents moments clés pour me rappeler de façon proactive les dates importantes et de m'avoir aidé dans certaines démarches d'exception.

Je ne peux passer sous silence la souplesse dont a aussi fait preuve mon employeur pour me permettre de prendre congé à différents moments pour me consacrer à la recherche et à la rédaction. Merci à mes supérieurs, vous vous reconnaîtrez si vous lisez ces lignes.

Et finalement, merci à Aline d'avoir veillé sur moi.

Éric Chamberland, 7 novembre 2023

Chapitre 1 – Introduction

J'ai découvert la théorie de la charge cognitive (TCC) en 2010. Je vivais alors certaines frustrations comme étudiant dans un domaine de la santé. Le matériel didactique qui nous était fourni me semblait à plusieurs égards insuffisant ou inadéquat au regard des apprentissages complexes que nous devons réaliser. Le sentiment était largement partagé dans ma cohorte. Cette situation s'expliquait par certaines bonnes raisons, mais on nous donnait aussi des raisons que j'estimais peu convaincantes : aux dires de certains enseignants, nous donner du matériel de référence plus complet aurait été l'équivalent de nous donner « tout cuit dans le bec », ce qui risquait de nous empêcher d'investir les efforts requis pour attendre les objectifs pédagogiques.

Je croyais que sous le couvert d'une proposition tout-à-fait raisonnable, soit que l'apprentissage demande des efforts, on cherchait plutôt à s'épargner un gros travail de repérage ou de création de matériel didactique dans un contexte de ressources limitées.

L'un des impacts d'avoir peu de matériel de référence était que nous devions prendre des notes très abondantes en cours de séance pour pouvoir poursuivre nos apprentissages en-dehors des heures de classe. Devant transcrire énormément d'information tout en peinant à suivre le rythme, nous ne pouvions pas véritablement porter attention au fond du message. Je croyais que l'effort de prendre des notes exhaustives ne constituait pas une activité cognitive très propice à l'apprentissage : nous tentions simplement de noter tout ce que nous pouvions en vue de notre préparation aux examens, sans grande possibilité de considérer attentivement cette nouvelle information lorsqu'elle nous était présentée. N'aurait-il pas mieux valu traiter l'information au fur et à mesure qu'elle était présentée, pour nous permettre de valider notre compréhension sur-le-champ et recevoir des explications supplémentaires en cas de mauvaise compréhension?

La question du matériel didactique s'est mis à m'intéresser au point de me documenter sur sa création. Pour un travail de fin d'année, j'ai voulu créer un échantillon de ce que pourrait être du matériel didactique répondant aux besoins que je percevais. J'ai donc cherché dans la littérature professionnelle en pédagogie et en formation, et je suis tombé sur un ouvrage qui présentait aux praticiens les grandes lignes de la théorie de la charge cognitive : *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load* de Clark, Nguyen et Sweller (2006). J'y ai découvert des principes validés scientifiquement pour créer du

matériel didactique efficace et j'ai tenté de les appliquer pour créer ma propre version d'une fiche technique dans mon domaine d'études.

Par ailleurs, la TCC m'a permis de confirmer mon intuition quant à la valeur pédagogique d'un rythme de prise de notes trop élevé : la prise de notes à rythme accéléré utilise la mémoire de travail comme une simple mémoire-tampon, laissant peu de capacité pour un traitement de cette information favorisant l'apprentissage. L'information est maintenue en mémoire de travail juste assez longtemps pour être retranscrite, puis disparaît pour faire place à la nouvelle information à transcrire, avec des pertes d'informations si le rythme est trop rapide. La TCC nomme ce phénomène, où l'information présentée disparaît trop vite pour être traitée et apprise correctement, l'effet d'information transitoire (Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011). J'avais la confirmation de mon intuition. Mais au-delà de cette réponse, la TCC allait aussi confirmer d'autres intuitions sur l'enseignement et sur le matériel didactique, et m'en apprendre bien plus.

En même temps que ce programme du domaine de la santé, j'étais inscrit dans un programme de 2^e cycle en formation à distance de la TÉLUQ et j'ai voulu pousser plus loin ma compréhension de la TCC en faisant un cours de lectures dirigées sur ce sujet en 2011. En consultant quelques ouvrages et une quarantaine d'articles, j'avais ainsi pu cerner la portée de cette théorie sur les plans théorique, méthodologique, et appliqué, de même que les critiques et les questions qui demeuraient en suspens. Plusieurs auteurs critiquaient la TCC depuis quelques années et ces critiques me semblaient justes. Et pourtant, malgré ces critiques, la TCC « fonctionnait », comme en témoignent la vaste quantité d'études expérimentales qui attestent de l'efficacité des principes de design qui en sont issus. Outre la recherche faite sur la TCC à proprement parler, plusieurs de ses fondements sont appuyés sur une base de recherche beaucoup plus large en sciences cognitives, qui décrit notamment le fonctionnement de différentes mémoires et leurs interrelations.

Depuis, la TCC m'a offert un cadre de référence qui ne m'a plus quitté dans ma profession de conseiller pédagogique universitaire. Dès qu'il est question de produire du matériel didactique, ou d'analyser le niveau de complexité ou la progression des apprentissages dans un contexte donné, la TCC fait partie de mes influences majeures. J'ai produit du matériel et des formations sur la médiatisation de l'enseignement en me basant sur la TCC. J'ai accompagné des ensei-

gnants dans la création de leur matériel pédagogique ou la planification des activités d'apprentissage et d'évaluation à différentes échelles (activité, cours, programmes) en tenant compte de la TCC.

Et pourtant, le survol des critiques réalisé en 2011 continuait à m'habiter. J'avais un inconfort à miser autant sur une théorie dont certaines assises étaient contestées. Je vivais mal avec le paradoxe d'une théorie productive dont les applications se confirmaient expérimentalement étude après étude, mais dont les bases théoriques souffraient de faiblesses importantes. J'ai donc décidé d'en faire le sujet de mon mémoire de maîtrise.

Plusieurs difficultés se posent lorsque l'on souhaite étudier et approfondir les critiques de la TCC.

D'abord, elles touchent des aspects variés : conceptualisation, méthodologie de recherche, enjeux de mesure de la charge cognitive, évolution en silo, modélisation des phénomènes qui demeure parfois en surface, etc.¹ Les auteurs qui ont critiqué la TCC ont soulevé de nombreux problèmes de différents types et il est difficile de tous les étudier dans les limites d'un projet de mémoire, à moins de ne viser qu'un survol. De tels survols existent déjà dans la littérature et une nouvelle version de cet exercice me semblait donc représenter peu d'intérêt.

Ensuite, la quantité d'articles portant sur la TCC a explosé à partir de la fin des années 2000 jusqu'à aujourd'hui, et ce principalement autour de résultats expérimentaux qui viennent confirmer des découvertes, raffiner la compréhension des effets de charge cognitive déjà documentés, ou étendre la portée de la TCC à des phénomènes auxquels elle n'avait jusqu'alors pas été appliquée.

Il a donc fallu choisir un problème plus précis pour qu'il soit réaliste de l'analyser en profondeur et pour circonscrire la littérature pertinente à étudier. De tous les problèmes relevés dans la littérature, celui qui m'interpelle le plus est la conceptualisation même de la charge cognitive et de ses différents types. Que le concept princeps de la TCC fasse l'objet de vives critiques me semble un problème fondamental, car l'ensemble de la théorie repose sur cette base. Comment peut-on être sûr des explications que l'on avance pour les phénomènes de charge cognitive si l'on ne définit pas clairement ce concept et ses dérivés? Comment peut-on mesurer adéquatement ce que l'on n'a pas bien défini?

¹ Un sommaire de ces critiques sera présenté au chapitre deux, avec références complètes.

La méthode de recherche que j'ai choisie est l'analyse critique de la littérature, dans une perspective d'analyse conceptuelle. Pour mieux comprendre le concept de charge cognitive dans la TCC, l'analyse débute par une approche historique du développement du concept dans la TCC. Par la suite, je présenterai une analyse critique du concept de charge cognitive et des concepts qui lui sont associés dans la version contemporaine de la TCC. Suivront des propositions pour améliorer la définition des concepts de charge cognitive.

Plus précisément, le mémoire se décline en plusieurs chapitres, qui sont décrits ci-dessous.

- Le premier chapitre, soit la présente introduction, explique l'origine et du projet et les parties du mémoire.
- Le deuxième chapitre présente la problématique de recherche.
- Le troisième chapitre présente la question de recherche et les objectifs de la recherche.
- Le quatrième chapitre présente la méthodologie utilisée pour réaliser l'analyse critique.
- Le cinquième chapitre présente l'évolution historique du concept de charge cognitive dans la TCC.
- Le sixième chapitre présente l'analyse critique des concepts de charge cognitive dans la TCC.
- Le septième chapitre présente des recommandations ainsi que des pistes de recherche future, et explique les limites de la recherche.
- Le huitième chapitre constitue la conclusion du mémoire.

Sur recommandation de ma directrice de mémoire, et par souci de concision, j'ai choisi de ne pas décrire de façon exhaustive toute la TCC et tous les effets de charge cognitive documentés jusqu'à maintenant. Les aspects essentiels au projet de recherche et les principaux fondements de la TCC seront présentés; les autres volets seront mentionnés sans explication supplémentaire, ou omis. Ce choix implique que le texte s'adresse à un public de scientifiques ou de praticiens qui sont déjà familiers avec la TCC et qui peuvent donc considérer directement l'argumentaire qui sera développé dans les chapitres suivants, sans avoir besoin d'une introduction complète au sujet. Ainsi, je tiens pour acquis que les

lecteurs du public cible n'ont pas besoin d'une présentation de l'architecture cognitive sur laquelle s'appuie la TCC ou de la théorie des schémas, par exemple.

Chapitre 2 – Problématique

La TCC est une théorie de la conception pédagogique (« *instructional design* ») fondée par John Sweller à la fin des années 1980 (Moreno & Park, 2010, pp. 324-325), dans la continuité de travaux qu'il a menés tout au long des années 1980. Brünken, Plaas et Moreno (2010) et Ozcinar (2009) la décrivent comme une des théories de conception pédagogique les plus influentes. Elle est également une théorie très productive : la TCC a mené à la découverte de près de 30 effets de charge cognitive sur l'apprentissage, documentés dans des centaines de publications incluant la démonstration de ses effets dans des contextes variés. Des ouvrages collectifs et des éditions spéciales de revues savantes lui ont été consacrés intégralement (voir par exemple Plaas, Moreno, & Brünken, 2010; Sweller et al., 2011). Un ouvrage en langue française a été publié en 2007 par Lucille Chanquoy et André Tricot avec la collaboration de John Sweller ².

La TCC s'appuie sur un modèle de l'architecture cognitive humaine issu d'autres recherches, appuyées elles-mêmes par des décennies de recherche empirique. Cette architecture comporte une mémoire de travail à plusieurs composantes, limitée en capacité et en durée, telle que décrite notamment par les chercheurs George Miller, Alan Baddeley et Nelson Cowan, et une mémoire à long terme qui contient les toutes connaissances de la personne, organisées sous forme de schémas s'activant lors que lesdites connaissances sont sollicitées.

L'architecture cognitive sous-jacente à la TCC nous informe sur certaines limites universelles à la capacité humaine de traiter l'information, de même que sur des processus cognitifs régissant l'apprentissage. « *The central problem identified by Cognitive Load Theory [...] is that learning is impaired when the total amount of processing requirements exceeds the limited capacity of human working memory.* » (Brünken, Seufert, & Paas, 2010, p. 181) ³.

Les méthodes efficaces d'enseignement respectent les limites de traitement du système cognitif et s'adaptent aux processus cognitifs de l'apprentissage (R. C. Clark et al., 2006). La TCC propose des principes pour concevoir l'enseignement et le matériel didactique de façon à ce que leurs exigences de traitement

² Cette monographie traite du concept de charge cognitive de façon plus large que son usage dans la TCC. On y aborde notamment des travaux faits dans d'autres disciplines, comme l'ergonomie par exemple.

³ Voir le chapitre 4 pour une explication sur les citations dans la langue originale anglaise.

demeurent dans les limites des capacités de traitement de l'apprenant. En respectant les limites de traitement, les matériels et activités élaborées selon les principes de la TCC favorisent l'apprentissage.

2.1. Survol de l'évolution de la TCC

Bien qu'officiellement « fondée » en 1988 (Sweller, 1988; Owen & Sweller, 1989; Sweller, 1990a; Sweller, Chandler, Tierney, & Cooper, 1990), certaines des premières idées principales de la TCC ont été exprimées dans des articles publiés depuis le début des années 1980 par John Sweller et des collaborateurs (Mawer & Sweller, 1982; Sweller & Levine, 1982; Sweller, Mawer, & Howe, 1982; Sweller, 1983; Sweller, Mawer, & Ward, 1983; Owen & Sweller, 1985; Sweller & Cooper, 1985; Cooper & Sweller, 1987).

La recherche sur la TCC s'est menée principalement au moyen de devis expérimentaux, ce qui l'inscrit dans le courant des pratiques éducatives fondées sur les données probantes (Davies, 1999; Brusling, 2005; R. C. Clark et al., 2006). Issu de la médecine, le courant des pratiques professionnelles fondées sur les données probantes s'est fait connaître au début des années 1990 d'abord sous le nom de « *evidence-based medicine* » pour ensuite gagner d'autres domaines, menant au terme plus générique « *evidence-based practice* », incluant l'éducation et désigné dès lors par le terme spécifique « *evidence-based education* ». Ce courant vise à outiller les professionnels de divers domaines sur les pratiques les mieux soutenues par la recherche scientifique rigoureuse (Davies, 1999; Hargreaves, 1999; Brusling, 2005).

Les expériences ayant mené à la formulation et à l'évolution de la TCC portent principalement sur ce que les chercheurs appellent des « effets ». Un effet de charge cognitive est un phénomène où l'on observe de meilleurs apprentissages lorsque l'on adopte une procédure d'enseignement respectant mieux les capacités cognitives des apprenants que d'autres procédures d'enseignement courantes. Chaque effet de charge cognitive se traduit donc par un principe ou par un ensemble de principes à appliquer pour améliorer les apprentissages, en optimisant la charge cognitive générée par l'activité. Les effets sont parfois nommés selon la procédure alternative plus efficace (e.g. effet de non-spécification

du but, effet du problème résolu), parfois selon la procédure moins efficace qu'il faudrait abandonner (e.g. effet de redondance, effet d'attention partagée) ⁴.

2.1.1. Un exemple d'effet de charge cognitive : l'effet de non-spécification du but

Pour bien illustrer ce qu'est un effet de charge cognitive (CC), je vais décrire le tout premier effet de CC découvert par John Sweller et ses collaborateurs (Sweller & Levine, 1982; Sweller et al., 1983; Sweller & Cooper, 1985) : l'effet de non-spécification du but. C'est un effet où l'apprentissage est rehaussé lorsque l'on présente une situation problème à un apprenant en lui suggérant d'explorer les opérations possibles sans lui demander d'atteindre un but spécifique. Cette approche diffère de l'approche plus traditionnelle où l'on présente à l'apprenant un problème à résoudre en lui demandant d'atteindre un certain but prédéterminé. Selon Sweller, l'effet de non-spécification du but démontre l'inefficacité de l'approche traditionnelle pour l'apprentissage de la résolution de problèmes. ⁵

Pour bien distinguer ces deux approches, prenons un exemple simple en algèbre : isoler une variable dans une équation. Dans une approche traditionnelle, on fournirait une équation aux apprenants en leur demandant d'isoler une variable en particulier. Dans l'approche sans but spécifié, on leur présente la même équation, mais avec la consigne alternative d'isoler un maximum de variables. Dans les deux cas, la variable cible sera isolée. Mais la démarche appliquée par l'apprenant sera différente selon la consigne donnée, ce qui a des répercussions importantes sur l'apprentissage.

Prenons un deuxième exemple, cette fois en géométrie. Imaginons un triangle dont les valeurs d'un angle et de deux côtés sont connues. Avec ces données de départ, la tâche avec but spécifié pourrait être de calculer la valeur d'un autre angle en particulier. Dans la tâche sans but spécifié, on donne les mêmes informations de départ, mais avec la consigne alternative de découvrir autant de valeurs inconnues que possible à partir des données de départ. Souvent, tant les

⁴ Aucune explication n'a pu être trouvée quant au choix du nom d'un effet, à savoir s'il doit être lié à la procédure souhaitable ou à celle à éviter. Il se dégage une impression que le nom est simplement choisi en fonction de ce qui semble le plus évocateur pour le décrire sommairement.

⁵ Ultérieurement, les découvertes relatives à l'effet de renversement dû à l'expertise viendront nuancer cette proposition. Si les apprenants novices sont surchargés cognitivement par la résolution de problèmes à but spécifié, cet effet diminue et finit même par se renverser à mesure que les apprenants gagnent en expertise sur un type de problème (Sweller et al., 2011).

apprenants exposés au problème sans but spécifié que ceux exposés au problème à but spécifié vont découvrir la valeur demandée dans la version du problème où le but est spécifié. Cependant, ceux qui auront réalisé la tâche sans but spécifié seront plus performants pour résoudre des problèmes similaires que ceux qui auront résolu le problème avec but spécifié, démontrant ainsi des apprentissages supérieurs.

La TCC explique la différence d'apprentissage entre les deux approches en postulant que la résolution de problèmes conventionnels avec but spécifié induit une lourde charge cognitive chez les apprenants novices dans le domaine, qui serait inutile et même nuisible pour l'apprentissage. Cette lourde charge cognitive est causée par le recours à une démarche ou stratégie heuristique générale qui est cognitivement très exigeante : l'analyse moyens-fins. L'analyse moyens-fins est efficace pour résoudre des problèmes, mais les travaux fondateurs de la TCC ont révélé qu'elle est en revanche peu efficace pour l'apprentissage de la résolution des mêmes problèmes, paradoxalement.

Nous avons recours à l'analyse moyens-fins lorsque nous faisons face à un problème pour lequel nous ne connaissons pas la solution et devons donc élaborer une solution qui nous est inédite. Nous essayons alors de nous rapprocher progressivement de notre but en réduisant l'écart entre la situation actuelle et la situation souhaitée, une action à la fois. Chaque action posée est une tentative de réduire cet écart. Dans une analyse moyens-fins, à chaque étape du problème, nous comparons l'état actuel du problème avec le but recherché pour tenter de réduire l'écart avec le but. L'élaboration de la solution par cette démarche entraîne une charge cognitive supplémentaire, car il faut considérer énormément d'information et réaliser de nombreuses opérations mentales.

L'apprenant qui travaille sur un problème sans but spécifié ne fait pas cette analyse moyens-fins puisqu'il n'a pas de but avec lequel comparer chacune de ses étapes de résolution du problème. Il explore donc les possibilités avec une meilleure « disponibilité » mentale, et il tend à porter son attention sur les effets directs des opérations qu'il applique au problème. Il aurait donc davantage de capacité cognitive disponible pour reconnaître les procédures efficaces et pertinentes à chaque étape du problème, et pourrait ainsi plus facilement remarquer et mémoriser des régularités qui l'aideront à résoudre des problèmes similaires dans le futur.

2.1.1.1. L'analyse moyens-fin et la charge cognitive

L'analyse moyens-fins a été découverte par Simon et Newell (1972, cité dans Tricot, 1998). Elle est une stratégie heuristique générale qui n'a pas besoin d'être enseignée : elle semble émerger naturellement et faire partie du système cognitif humain de façon universelle. Elle s'applique à tous types de problèmes, qu'il s'agisse de problèmes mathématiques ou de problèmes de la vie courante. Parmi ces derniers se trouvent, par exemple, des problèmes tels que planifier des courses en essayant de minimiser la distance parcourue, ou de planifier sa journée en cherchant à optimiser le temps consacré à nos diverses tâches (ex. faire un lavage tôt pour pouvoir vaquer à nos autres occupations pendant que la machine travaille toute seule et ensuite faire sécher les vêtements pendant que l'on conduit nos autres activités). Même les enfants y ont recours pour atteindre des buts qu'ils se donnent eux-mêmes, comme de chercher à atteindre un objet trop haut pour qu'ils puissent le saisir directement.

L'analyse moyens-fins oriente notre attention et nos choix d'opérations pour tenter de solutionner le problème. De plus, elle « remplit » notre mémoire de travail avec les informations nécessaires aux comparaisons. Les comparaisons des états successifs du problème avec le but recherché sont des opérations mentales qui nous obligent à considérer beaucoup plus de données à chaque étape du problème que ne le nécessitent les seules opérations qui contribuent directement à la solution. En effet, si nous connaissions déjà une solution, nous n'aurions pas à en chercher une à tâtons en évaluant continuellement si nous avançons vers le but recherché. Cet ensemble d'opérations mentales et de données supplémentaires à considérer lorsque l'on ne connaît pas la solution au problème constituent une charge cognitive additionnelle comparativement à l'application d'une solution déjà connue.

L'analyse moyens-fins n'est pas la seule source de charge cognitive entravant l'apprentissage, mais elle en est un bon exemple. La découverte de son apport en charge cognitive inutile lors des activités visant des apprentissages est à l'origine de la TCC.

2.1.2. Les étapes d'évolution de la TCC selon Moreno et Park

La TCC a beaucoup évolué en fonction des nouveaux effets qui ont été découverts au fil du temps. Cette évolution a été divisée en quatre étapes (en anglais : « *stages* ») par Moreno et Park (2010) dans le chapitre 1 du livre « *Cognitive load theory* » édité par Plaas, Moreno et Brücken. Les trois premières étapes

correspondent chacune à la proposition d'un type de charge cognitive pour expliquer de nouveaux effets de charge cognitive. La quatrième étape vise à situer la TCC dans un cadre de référence plus large issu de la psychologie évolutionniste.

Une réorientation importante de la TCC a eu lieu en 2010 (Sweller, 2010b), donc la même année de publication que le chapitre de Moreno et Park. Les deux autrices n'ont vraisemblablement pas eu accès à l'article de Sweller avant de rédiger leur chapitre, car elles ne font pas mention de ces changements majeurs. John Sweller signe le chapitre suivant du même ouvrage et celui-ci présente les développements récents de la TCC en tenant compte des changements théoriques qu'il introduit dans cet autre article qu'il a publié la même année (Sweller, 2010b). Les changements proposés à la TCC par Sweller en 2010 sont à mon avis suffisamment importants pour justifier la proposition d'une nouvelle étape de développement. Je proposerai ma propre périodisation de l'évolution de la TCC au chapitre 5.

Dans les prochaines sections, je décrirai brièvement les étapes proposées par Moreno et Park dans leur chapitre de livre publié en 2010. En l'absence d'autres références au sein du texte, les descriptions seront basées sur ce chapitre.

2.1.2.1. Étape I : la charge cognitive inutile en situation de résolution de problèmes

À la suite de la découverte de l'effet de non-spécification du but et de l'effet de l'étude de problèmes résolus, Sweller pose l'hypothèse de la charge cognitive inutile, qui constitue une entrave à l'apprentissage. Selon Sweller, ces deux effets favorisent les apprentissages en prévenant la génération d'une charge cognitive inutile pour l'apprentissage (« *extraneous cognitive load* »), et ce en évitant le recours à l'analyse moyens-fins dans l'apprentissage de la résolution de problèmes. La nature exacte de ce qu'est la charge cognitive n'est pas précisée, mais des hypothèses sont mises de l'avant.

Pendant cette période, divers travaux menés par Sweller et d'autres chercheurs permettront d'isoler d'autres effets associés à la charge cognitive inutile. Il s'agit des effets d'attention partagée, de problème à compléter et de redondance.

2.1.2.2. Étape II : la charge cognitive intrinsèque et la première hypothèse d'additivité

En 1993, Sweller introduit le concept de charge cognitive intrinsèque et formule pour la première fois l'hypothèse d'additivité des charges cognitives inutile et intrinsèque. Sweller (1993) intègre le concept de charge cognitive intrinsèque (CCI) dans la TCC. La CCI repose sur l'idée d'interaction entre les éléments à apprendre. Le concept de CCI s'appuie sur les travaux de Halford, Maybery, et Bain (Halford, Maybery & Bain 1986; Maybery, Bain & Halford, 1986, cités dans Sweller, 1993).

La charge cognitive est maintenant présentée comme étant l'utilisation des ressources de la mémoire de travail (MdT) pour réaliser une tâche.

La charge cognitive intrinsèque réfère à la complexité inhérente à un apprentissage donné. Elle est déterminée par le nombre d'éléments interactifs qui doivent être traités simultanément en MdT pour réaliser les apprentissages attendus.

Les informations à apprendre constitueraient ainsi une charge cognitive intrinsèque, tandis que les autres activités mentales constitueraient une charge cognitive inutile. La charge cognitive intrinsèque est considérée comme inaltérable par design pédagogique pour un niveau d'expertise donné, car elle serait inhérente aux apprentissages à réaliser, et ce quels que soient les détails de la tâche à accomplir pour y arriver. La charge cognitive inutile est réputée être le résultat du design pédagogique et peut donc être modifiée en changeant le design pédagogique.

Selon l'hypothèse d'additivité, la CC intrinsèque et la CC inutile contribuent toutes deux à la charge cognitive totale en s'additionnant. Si la charge cognitive totale dépasse la capacité de la mémoire de travail, il y a surcharge cognitive et l'apprentissage sera alors entravé.

Même si la charge cognitive intrinsèque n'est pas affectée par le design pédagogique selon Sweller, on décrira des effets permettant de la gérer, de l'étaler dans le temps, en agissant sur la temporalité des traitements en mémoire de travail. Trois effets permettant de gérer la CCI ont été décrits à cette deuxième étape de développement : l'effet des éléments interactifs présentés isolément, l'effet molaire-modulaire, et l'effet de segmentation.

2.1.2.3. Étape III : la charge cognitive pertinente et la deuxième hypothèse d'additivité

En 1998, on introduit le concept de charge cognitive pertinente (Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998). La charge cognitive pertinente est une charge induite délibérément par les procédures d'enseignement dans le but de favoriser les apprentissages. Elle est suscitée par des activités qui renforcent l'élaboration et l'automatisation des connaissances.

Ce nouveau concept mène à une deuxième hypothèse d'additivité : les trois types de CC s'additionneraient dorénavant pour contribuer à la CC totale, contrairement à l'hypothèse précédente qui ne considérait que les deux types alors postulés, soit la CC inutile et la CC intrinsèque.

Le concept de charge cognitive pertinente a permis d'expliquer les résultats expérimentaux où des procédures d'enseignement qui augmentaient la charge cognitive totale amélioraient néanmoins les apprentissages réalisés.

L'une d'elles est l'effet de variabilité. Cet effet est obtenu en présentant des exemples variés d'un même type de problème. Les exemples variés sont des exemples où le contexte de surface diffère, mais où le type de problème et le mode de résolution sont identiques. Ce procédé génère une plus grande charge cognitive, mais il suscite en contrepartie de meilleurs apprentissages. La variabilité des exemples amène les apprenants à comparer les problèmes qui leur sont présentés. À force de comparer différents problèmes du même type, ils reconnaissent que derrière une présentation variée se cachent des caractéristiques structurelles communes. Ces caractéristiques structurelles définissent la nature du problème, et réunissent les problèmes qui les partagent dans une même catégorie. À force d'être exposé à des exemples variés, un certain modèle mental de ce type de problème et de ses modes de résolution s'élabore chez l'apprenant. Celui-ci sera dorénavant en mesure de reconnaître les occasions où il fait face au même type de problème et d'y appliquer le mode de résolution déjà connu sans tenter d'élaborer une nouvelle solution.

La TCC considère que cet effet se produit parce que les exemples variés tendent non seulement à orienter l'attention des apprenants sur les caractéristiques structurelles des problèmes, mais aussi sur les opérations requises pour le résoudre. Ces informations sont justement celles requises pour bâtir des schémas de résolution de problème adéquats et ainsi développer l'expertise. La charge cognitive supplémentaire générée par ces comparaisons contribue donc directement à l'élaboration et à l'automatisation des schémas requis en mémoire à long

terme pour faciliter la résolution de futurs problèmes du même type. Par opposition, l'analyse moyens-fins, réputée générer une lourde CC inutile, est plutôt centrée sur la comparaison des caractéristiques de surface des problèmes afin d'élaborer une solution au problème spécifique qui est présenté. Il en reste donc bien moins d'apprentissages transférables ⁶.

Comme la charge cognitive intrinsèque est réputée fixe et que la charge cognitive inutile est réputée nuire aux apprentissages, il y avait une impasse dans la TCC pour expliquer qu'une charge cognitive rehaussée puisse améliorer l'apprentissage. Le construit de charge cognitive pertinente a permis de réconcilier ces résultats avec la TCC.

La charge cognitive pertinente permet d'étendre la portée de la TCC à davantage de situations d'apprentissage. Jusqu'à cette étape de développement de la TCC, tous ses effets visaient à réduire la CC totale. Sachant qu'il est possible de créer des activités d'apprentissage plus exigeantes, mais qui mènent néanmoins à de meilleurs apprentissages, il devenait nécessaire d'enrichir la TCC pour tenir compte de ce phénomène sur les plans théorique et empirique.

Grâce à ce développement théorique, la TCC a non seulement pu expliquer des résultats expérimentaux qui étaient paradoxaux avant l'introduction du concept de CCP, elle a aussi pu générer de nouveaux principes de conception pédagogique permettant de profiter de la capacité disponible de la MdT pour rehausser les apprentissages.

Plus particulièrement, en appliquant les principes de la TCC pour modifier une tâche d'apprentissage, on peut à la fois réduire la charge cognitive inutile et augmenter la charge cognitive pertinente, ce qui rehausse les apprentissages à la fois en prévenant la surcharge cognitive et augmentant les activités mentales favorisant le plus l'apprentissage. Lorsque l'on modifie une tâche de façon à en réduire la CCE et à en augmenter la CCP, la charge cognitive totale de la tâche modifiée peut s'en trouver modifiée : les variations des deux types de CC ne seront pas forcément exactement opposées.

⁶ Tel qu'expliqué plus tôt, l'analyse moyens-fins est la stratégie générale employée en l'absence de schémas de solution pour tenter de générer une solution, mais à coût cognitif si élevé qu'elle entrave l'apprentissage. L'expertise permet d'éviter l'analyse moyens-fins car elle consiste à posséder des schémas de solution prêts à appliquer. Il s'agit d'une forme de cercle vicieux pour les novices car l'analyse moyens-fins, par la lourde charge cognitive qu'elle impose, retarde l'acquisition des schémas, et donc retarde le moment où résoudre un nouveau problème du même type cessera de leur occasionner une surcharge cognitive, celle-là même qui prévient l'acquisition de schémas.

2.1.2.4. Étape IV : l'interprétation évolutionniste de la TCC

À compter de 2003, Sweller recadre la TCC dans une perspective évolutionniste (Chanquoy, Tricot, & Sweller, 2007). L'interprétation évolutionniste de la TCC est essentiellement une métathéorie interprétative (selon la taxonomie de van der Maren, voir plus loin), qui a peu d'incidence sur l'aspect praxéologique de la TCC. Elle comporte un volet analogique et un volet instrumental.

Le volet analogique établit un parallèle entre l'évolution de ce que Sweller appelle les systèmes naturels de traitement de l'information : le génôme et le système cognitif. Sweller en tire cinq grands principes d'acquisition, de traitement et de stockage des informations qui sont communs à ces deux systèmes. Il ré-explique tous les effets de charge cognitive à la lumière de ces cinq principes.

Le volet instrumental cherche à expliquer le fonctionnement actuel de ces systèmes à la lumière de la théorie de l'évolution. S'appuyant sur les travaux de David Geary, il établit la distinction entre deux types d'apprentissages.

- Les apprentissages biologiquement primaires, ceux qui sont soutenus directement par des structures et fonctions biologiques issues de notre évolution afin de favoriser la survie de l'espèce. Par exemple : apprendre à reconnaître les visages, apprendre à reconnaître les émotions dans les expressions faciales, apprendre à marcher.
- Les apprentissages biologiquement secondaires, qui sont largement liés à la culture et sont habituellement enseignés. Par exemple, apprendre à lire et à écrire, ou apprendre les mathématiques. La TCC ne s'applique qu'aux apprentissage secondaires.

Le volet instrumental décrit les caractéristiques communes des systèmes naturels de traitement de l'information et explique en quoi elles sont des adaptations pertinentes à la survie sur le court terme dans le cas des apprentissage biologiquement secondaire (assurer la survie de l'individu pendant sa propre vie) et sur le long terme dans le cas des apprentissages biologiquement primaires (assurer la survie de l'espèce à l'échelle des générations).

2.1.3. Changements après l'étape IV de Moreno et Park

En 2010, Sweller répond à plusieurs critiques en reconceptualisant les trois types de charge cognitive : inutile, intrinsèque et pertinente. La charge cognitive pertinente devient un aspect de la charge cognitive intrinsèque et n'est donc

plus additive. De plus, l'ensemble de la charge cognitive est alors redéfinie en termes d'éléments interactifs : il est postulé que les procédures d'enseignement inefficaces font en sorte que des éléments inutiles deviennent interactifs avec les éléments intrinsèques, déjà interactifs entre eux, en raison de la façon dont la tâche ou le matériel didactique sont conçus.

2.2. Situation de la TCC dans champ des sciences de l'éducation

La situation de la TCC dans le paysage contemporain des sciences de l'éducation peut être précisée sur les plans du paradigme d'appartenance, du courant, du type de théorie et du niveau d'explication (Van der Maren, 1996).

Il convient d'abord de situer la TCC dans l'un des deux grands paradigmes en éducation : le paradigme de l'enseignement et le paradigme de l'apprentissage. Comme plusieurs des pratiques recommandées par la TCC concernent la façon dont l'enseignant présente l'information, on pourrait l'associer à tort au paradigme de l'enseignement⁷, aussi nommé paradigme « instructiviste » ou « centré sur l'enseignant » (Barr & Tagg, 1995). Selon Barr et Tagg (1995, p. 15), qui sont à l'origine de cette dichotomie de paradigmes en éducation, il s'agirait toutefois d'une erreur de catégorisation car ils indiquent que les pratiques d'enseignement dites transmissives peuvent s'inscrire dans le paradigme de l'apprentissage lorsqu'elles sont utilisées à bon escient et qu'elles constituent un choix pertinent dans une situation donnée. S'inscrivant dans la lignée de l'enseignement explicite (Tobias & Duffy, 2009), la TCC est résolument orientée vers l'efficacité en apprentissage, et donc à ce titre devrait être associée au paradigme de l'apprentissage. Ses recommandations quant à la transmission efficace des informations aux apprenants démontrent un souci de transmission centrée sur l'apprentissage.

Sur le plan des courants du domaine de l'éducation, la TCC peut être associée au courant cognitiviste (Valcke, 2002), et plus particulièrement à l'approche symbolique du traitement de l'information élaborée en psychologie cognitive, qui utilise souvent l'analogie de l'ordinateur pour décrire la cognition humaine.

⁷ Une vision déformée du paradigme de l'apprentissage rejette d'emblée les approches dites transmissives. Ce rejet repose sur une certaine caricature qui ne considère que le pire de l'enseignement dit « transmissif » tout en occultant ses forces et ses bonnes pratiques, et simultanément ferme les yeux sur les limites des méthodes dites actives et sur leurs propres possibilités de mauvaises pratiques (Mayer, 2004; Kirschner, Sweller, & Clark, 2006; Sweller, Kirschner, & Clark, 2007; Gauthier, Bissonnette, & Richard, 2009; Gauthier, Bissonnette, & Bocquillon, 2020).

La TCC peut également être classée selon différentes typologies des théories en éducation.

Selon la typologie de Van der Maren, la TCC est une théorie de type stratégique (ce qui est pertinent de faire) et de sous-type praxéologique (comment maximiser ou optimiser l'impact de ses actions) (Van der Maren, 1996, pp. 72-74), fondée sur une théorie descriptive ou empirique (Van der Maren, 1996, p. 71) du système cognitif humain, et sur une approche évolutionniste de la cognition (Sweller & Sweller, 2006; Sweller, 2010a; Sweller et al., 2011). Dans le contexte de la TCC, l'approche évolutionniste de la cognition est plutôt une théorie interprétative ou herméneutique, toujours selon la typologie de Van der Maren (Van der Maren, 1996, pp. 71-72).

Sur les quatre niveaux théoriques proposés par van der Maren (1996), je situe la TCC au troisième niveau qui est l'explication⁸. « [L'explication] correspond à la mise en évidence de régularités, de règles, de principes qui apparaissent entre diverses manifestations dans le temps et dans l'espace, d'événements semblables ou du même genre. » (Van der Maren, 1996, p. 75).

Par ailleurs, dans le grand ensemble des théories de l'ingénierie pédagogique (*instructional systems design*), on peut situer la TCC dans le sous-ensemble des théories de l'enseignement (*instructional theories*), et plus particulièrement dans les théories basées sur les conditions de l'apprentissage (*conditions-based learning*), au sens où elle stipule des conditions à respecter sur le plan de la charge cognitive pour favoriser les apprentissages, ainsi que des façons de concevoir l'enseignement et le matériel didactique pour respecter ces conditions. En plus des théories de conditions de l'apprentissage, Richey, Klein et Tracey (2011, p. 175) associent également le concept de charge cognitive aux théories de la communication, des médias et de l'apprentissage, bien qu'ils ne classent pas explicitement la TCC dans aucune des catégories de leur taxonomie des théories de l'ingénierie pédagogique.

2.3. Les critiques de la TCC

Bien que la TCC s'appuie sur une très grande quantité d'études expérimentales, et puisse donc à ce titre être considérée comme une théorie fondée sur les données probantes, elle n'est pas à l'abri de critiques pour autant. Dès ses pre-

⁸ Les autres niveaux de Van der Maren sont 1) La description, 2) la compréhension et 4) la formalisation.

mières étapes de développement, elle a fait l'objet de critiques épistémologiques. Par exemple, Goldman (1991) ne croit ni que les premières expériences menées dans le cadre de la TCC permettent de conclure que la charge cognitive explique les phénomènes observés, ni qu'elles écartent d'autres explications plausibles. Dixon (1991) est du même avis et précise notamment que les études présentées en appui à la TCC testent et valident des applications ou prédictions de la TCC, mais qu'elles ne valident pas la théorie elle-même.

Ultérieurement, d'autres critiques ont identifié plusieurs faiblesses dans la TCC, résumées brièvement ci-dessous. Compte tenu du sujet du présent mémoire, les critiques essentiellement méthodologiques sont volontairement omises, comme celles portant sur la mesure de la charge cognitive (Moreno, 2006; Schnotz & Kürschner, 2007; Cierniak, Scheiter, & Gerjets, 2009; Gerjets, Scheiter, & Cierniak, 2009; Beckmann, 2010; de Jong, 2010; Moreno, 2010) ou celles portant sur l'évaluation du transfert des apprentissages (Brünken, Plaas, et al., 2010), ou encore celles sur la validité écologique de la TCC (de Jong, 2010). Il reste alors les critiques théoriques de la TCC, que l'on peut regrouper de la façon suivante :

- a) Critiques concernant son modèle de la mémoire de travail (MdT), lequel est généralement peu détaillé. L'application d'autres modèles de la MdT permet des explications alternatives des effets de CC avec des implications pour la conception pédagogique (Brünken, Plaas, et al., 2010; Horz & Schnotz, 2010; Schüler, Scheiter, & Genuchten, 2011; Schweppe & Rummer, 2014, 2015; Soemer, 2015).
- b) Critiques concernant l'absence de modèle de représentation des connaissances en MdT ou en mémoire à long terme (MLT), ce qui limite son pouvoir prédictif et explicatif (Goldman, 1991; Moreno, 2006; Schnotz & Kürschner, 2007; Brünken, Plaas, et al., 2010; Horz & Schnotz, 2010; Valcke, 2011).
- c) Critiques soulignant que la TCC ne tiendrait pas suffisamment compte des facteurs affectifs ou motivationnels liés à l'apprentissage, ni des aspects métacognitifs de l'apprentissage et du rôle des stratégies d'apprentissage employées par les apprenants (Valcke, 2002; Moreno, 2006; Schnotz & Kürschner, 2007; Beckmann, 2010; Brünken, Plaas, et al., 2010; de Jong, 2010; Moreno, 2010).

- d) Critiques sur le développement et l'évolution de la TCC en silo, ce qui a amené la « redécouverte » de certaines connaissances bien documentées dans la recherche en éducation qui auraient dû être pris en compte dans son évolution (de Jong, 2010; Moreno, 2010).
- e) Critiques selon lesquelles la TCC ignore les apprentissages implicites, même lorsqu'ils ont trait aux connaissances biologiquement secondaires (Schnotz & Kürschner, 2007).
- f) Critiques sur le peu de place accordée au rôle des activités de traitement de l'information en mémoire de travail et sur le rôle du focus attentionnel dans la définition de la charge cognitive et de ses différents types (Moreno, 2006; Gerjets et al., 2009; Beckmann, 2010; Brünken, Plaas, et al., 2010; de Jong, 2010; Horz & Schnotz, 2010; Moreno, 2010; Kalyuga, 2011).
- g) Critiques évoquant des contradictions quant à l'estimation de la charge cognitive parfois en termes relatifs à la capacité de MdT, soit la proportion de ressources disponibles utilisées (voir par exemple Sweller et al., 1998, p. 283) mais le plus souvent en termes absolus, soit la quantité de ressources utilisées (de Jong, 2010; Moreno, 2010). Cette confusion est amplifiée par le fréquent manque de distinction entre deux dimensions de la charge cognitive : la charge mentale (les ressources requises pour réaliser la tâche) et l'effort mental (les ressources effectivement consacrées à la tâche par l'apprenant) (Sweller et al., 1998).
- h) Critiques concernant la définition même de la charge cognitive et de ses types (inutile intrinsèque, pertinente), de même que leur éventuelle additivité (Moreno, 2006; Schnotz & Kürschner, 2007; Cierniak et al., 2009; Gerjets et al., 2009; Beckmann, 2010; Brünken, Plaas, et al., 2010; de Jong, 2010; Moreno, 2010; Kalyuga, 2011). Ces critiques mentionnent les problèmes conceptuels spécifiques suivants :
 - Le concept même de charge cognitive serait défini de façon imprécise.
 - La détermination des types de charge impliquées dans une situation d'apprentissage et leurs contributions respectives à la CC totale sont sujettes à des interprétations variées. On

rapporte aussi une forme de raisonnement tautologique dans les conclusions de certaines expériences : si l'apprentissage dans une condition était inférieur à une autre condition, on en conclura que cette tâche contenait plus de CC inutile, sans l'avoir évalué directement.

- Un autre volet de ce problème est de savoir si la charge cognitive intrinsèque est réellement fixe ou non comme le prétend John Sweller, et si oui, selon quels paramètres (l'information, le niveau d'expertise, l'apprentissage visé, la tâche?).

Les trois dernières critiques (f, g et h) touchent au cœur de la TCC. En effet, si les définitions de la charge cognitive et de chacun des types de charge cognitive sont imprécises et équivoques, la TCC s'en trouve fragilisée puisque l'ensemble de la théorie repose sur ces concepts. On explique les effets découverts par la façon dont ils augmentent ou réduisent un type de charge cognitive, par l'impact respectif de chacun de ces types de charge sur l'apprentissage, et par le fait que l'apprenant soit placé ou non en surcharge cognitive. Tous les effets et toutes les explications des découvertes empiriques dépendent de ces concepts.

De Jong (2010, p. 114) et Moreno (2010, p. 135) affirment sans détour que le concept de charge cognitive manque de clarté dans sa définition. Le livre francophone co-écrit par Lucille Chanquoy, André Tricot et auquel John Sweller a collaboré en convient également dès le début du chapitre 1 :

Malgré son utilité, le concept de charge cognitive demeure encore très rarement défini dans les recherches expérimentales, même lorsqu'il est utilisé pour interpréter les données et, lorsqu'il est défini, reste encore très flou. Ainsi, les travaux recourant et/ou utilisant ce concept font généralement apparaître un paradoxe : la charge cognitive est, du côté des critiques formulées, un concept qui pose des problèmes théoriques, de mesure et qui est peu explicatif mais, du côté de son utilisation, est opérationnel pour conduire des recherches et étudier certains phénomènes psychologiques [...] (Chanquoy et al., 2007, pp. 11-12) ⁹.

⁹ La conclusion de l'ouvrage prétend que la notion de CC n'est pas floue et qu'elle est bel et bien un concept opérationnel, car les auteurs ont pu identifier sept variables modératrices de la CC. Ces sept variables permettent certes d'identifier des facteurs qui influencent la charge cognitive, mais elles ne constituent pas à proprement parler à une définition. En l'absence d'une définition formelle précise et claire, on peut argumenter que ces variables modératrices influencent certes quelque chose que l'on a nommé

En somme, les trois dernières critiques (f, g et h) mènent directement à la problématique traitée dans le présent mémoire : la conceptualisation même de la charge cognitive.

2.4. Les problèmes de conceptualisation du concept de charge cognitive

Bien que les critiques évoquées précédemment sur la conceptualisation de la charge cognitive soient sévères, elles restent toutefois peu élaborées. Par ailleurs, aucun recensement complet de ces critiques n'en a été fait jusqu'à maintenant. Les articles scientifiques consultés qui critiquent la conceptualisation de la TCC se concentrent pour la plupart sur un problème spécifique. Ceux qui traitent de plusieurs problèmes ne couvrent les pas tous, ou font un survol qui décrit sommairement les enjeux sans les expliquer en profondeur.

Il apparaît donc pertinent de faire une analyse approfondie des problèmes de conceptualisation dans la TCC. Malgré son importance fondamentale, la conceptualisation dans la démarche scientifique est souvent ignorée ou peu valorisée, à la faveur des avancées empiriques et méthodologiques, ce qui mène au paradoxe de théories épistémologiquement faibles pourtant appuyées par une abondance de résultats empiriques solides (George, 1973; Machado, Lourenço, & Silva, 2000; Bredo, 2006; Machado & Silva, 2007).

Selon George, les concepts sont des « construits mentaux abstraits, conçus comme des outils permettant de comprendre la réalité » [traduction libre] (George, 1973, p. 28). Dans le même texte, il affirme que différentes conceptualisations appliquées aux mêmes données peuvent produire des découvertes différentes, ou du moins des interprétations différentes. La pertinence des concepts utilisés pour l'analyse des données est donc cruciale. Selon lui, les champs de recherche matures font appel à des concepts sophistiqués permettant de distinguer adéquatement les phénomènes qui se ressemblent sans être identiques. George estime que la valeur des découvertes scientifiques ne saurait dépasser celle des outils conceptuels qui les sous-tendent. Sa vision d'une conceptualisation sophistiquée capable de prévenir les interprétations équi-

charge cognitive, mais ce quelque chose qui subit l'influence des variables demeure mal défini. Les influences sont plus claires, mais on ne sait pas plus ce qu'elles influencent. Bref, la définition elle-même demeure floue, même si des variables affectant la CC sont bien identifiées.

voques et les amalgames erronés, sembler dresser un programme taillé sur mesure pour améliorer la TCC au regard des problèmes conceptuels soulevés par ses critiques.

L'ensemble de la TCC repose sur l'idée que l'apprentissage de certaines connaissances biologiquement secondaires est entravé si la charge cognitive qu'entraîne une activité d'apprentissage dépasse la capacité de la mémoire de travail de l'apprenant.

Par ailleurs, la TCC décrit différents types et différentes dimensions de la charge cognitive. Chaque type et chaque dimension de la CC possède des caractéristiques influençant différemment l'apprentissage. Or, ces concepts font l'objet de critiques quant à leur sens et à leur opérationnalisation. Comment peut-on tirer des conclusions valables sur l'explication des phénomènes de charge cognitive en fonction de ces types de CC et de ces dimensions de la CC si ceux-ci ne sont pas définis de façon claire et univoque? Comment peut-on mesurer adéquatement ce que l'on n'a pas défini précisément? Comment peut-on départager les effets relatifs de différents construits si ceux-ci ne sont pas clairement distingués les uns des autres? Locke illustre l'importance de concepts bien définis pour appuyer la recherche empirique :

« A valid definition of a concept is a prerequisite to valid measurement. One cannot attempt to measure something unless one knows what it is trying to measure. [...] Furthermore, the process cannot be reversed by claiming, "the meaning of the concept is that which I am measuring." It begs the question of what it is you are trying to measure. » (Locke, 2003, p. 397)

La TCC présente justement le genre de problèmes conceptuels que les théories matures évitent en s'appuyant sur des concepts précis, univoques et cohérents entre eux. Selon George : *« Continued existence of conflicting findings and interpretations in any field point out the need for conceptual systematization in it »* (1973, p. 32).

La présumée faiblesse conceptuelle de la TCC ne serait pas une anomalie en psychologie de l'éducation ni même dans l'ensemble de la recherche en psychologie (Machado et al., 2000; Bredo, 2006). Machado, Orlando et Silva (2000) estiment qu'en psychologie, il existe un déséquilibre quantitatif et qualitatif entre les recherches empiriques et les recherches théoriques : on développerait énor-

mément les aspects méthodologiques et empiriques sans accorder toute l'attention nécessaire aux aspects théoriques et conceptuels, ce qui résulterait en plusieurs théories souffrant de faiblesses conceptuelles malgré leur parfois large corpus de recherche empirique à la méthodologie robuste ¹⁰.

« When a scientific community invests most of its resources in factual investigations, another asymmetry is likely to develop, that between its sophisticated technology of data gathering and analysis, on the one hand, and its primitive conceptual structures and theories, on the other » (Machado et al., 2000, pp. 5-6).

La description qu'ils font du champ global de la recherche en psychologie s'applique parfaitement au développement de la TCC, très centré sur les recherches expérimentales. Dans une réponse à une des premières critiques théoriques de la TCC faite par Dixon en 1991, Sweller et Chandler affirmaient eux-mêmes qu'ils sont des expérimentateurs invétérés qui testent leurs découvertes sur une grande quantité de matériel (Sweller & Chandler, 1991, p. 358).

2.4.1. Les indices qu'une théorie souffre de faiblesses conceptuelles

Machado et Silva (2007) décrivent plusieurs sources de problèmes conceptuels :

- Classification inappropriée ou illogique
- Explications trop vagues et explications ad hoc
- Hypothèses irréfutables
- Sophisme de la nomenclature : nommer n'est pas expliquer
- Application inappropriée d'un concept familier à un domaine non familier
- Ambiguïté sémantique : les mêmes mots peuvent cacher des conceptions différentes

À l'exception de l'avant-dernier élément (l'application inappropriée d'un concept familier à un domaine non familier), les critiques de la TCC touchent à chacune

¹⁰ Dans leur réponse aux critiques de Dixon (1991) sur la TCC, Sweller et Chandler (1991) prétendent plutôt que leur discipline est au contraire trop centrée sur le développement de théories et produit trop peu d'applications et d'expériences cherchant à vérifier ces applications, à leur grand désarroi.

des sources de problèmes conceptuels soulevées par Machado et Silva. Il apparaît donc fondé de réaliser une analyse conceptuelle afin de bien caractériser et analyser ces problèmes et de proposer des solutions.

2.5. Un problème théorique de la TCC à analyser

Les concepts de charge cognitive sont au cœur de la TCC. Ils sont au nombre de cinq, soit :

- la charge cognitive (CC);
- la surcharge cognitive;
- la charge cognitive intrinsèque (CCI);
- la charge cognitive inutile (CCE ¹¹);
- la charge cognitive pertinente (CCP).

En conclusion, ce chapitre a permis de démontrer la pertinence de réaliser une analyse conceptuelle de ces concepts clés de la TCC, compte tenu de leur importance et de l'existence de plusieurs problèmes conceptuels bien démontrés dans la littérature scientifique portant sur la vaste recherche théorique et empirique engendrée par la TCC depuis trois décennies.

¹¹ Même si j'adopte le terme « charge cognitive inutile », proposé par Chanquoy et Tricot, pour traduire le terme original « *extraneous cognitive load* », je choisis d'abrégier la charge cognitive inutile comme si elle s'écrivait « charge cognitive extrinsèque » (une traduction alternative de « *extraneous cognitive load* » dans certains textes en français), afin d'utiliser des acronymes distincts pour ces deux types de charge cognitive. Autrement, la charge cognitive inutile et la charge cognitive intrinsèque auraient le même acronyme.

Chapitre 3 – Question de recherche et objectifs de la recherche

Considérant l'ampleur et la gravité des problèmes soulevés dans la problématique, il convient de préciser le présent projet de recherche. La portée d'un projet de mémoire doit être réaliste et permettre d'étudier une question de recherche précise qui ait une perspective raisonnable de succès. Avec le grand nombre d'enjeux soulevés quant à la TCC, il existe un risque de « s'éparpiller » si l'on ne circonscrit pas la portée de la question traitée dans le mémoire. Afin de délimiter une ampleur raisonnable et de maintenir une portée bien ciblée, j'ai fait deux choix importants.

Premièrement, étant donné le grand nombre d'articles publiés et les risques d'interprétations variées des concepts de charge cognitive, il m'a semblé pertinent de limiter l'analyse aux textes publiés par John Sweller, seul ou avec des co-auteurs. John Sweller demeure à ce jour la figure d'autorité sur la TCC. Il est auteur ou co-auteur de tous les articles qui présentent une nouvelle version de la TCC lorsque celle-ci évolue. Il détermine quelles modifications sont admises dans la TCC et lesquelles sont rejetées. En somme, la TCC n'évolue qu'avec sa caution – jusqu'à maintenant du moins.

Deuxièmement, bien que les cinq concepts de charge cognitive présentés dans la problématique ne soient pas les seuls qui aient évolué ou qui puissent poser problème, ils seront le seul objet de recherche du présent mémoire. Toutefois, comme ces concepts de charge cognitive sont liés à d'autres concepts, qui eux-mêmes ont des interprétations évolutives dans la TCC (la mémoire de travail, les schémas, les règles, l'attention, etc.), ils ne peuvent pas être étudiés en silo. C'est pourquoi je ferai les liens appropriés avec ces autres concepts lorsqu'il sera pertinent de le faire pour l'analyse des concepts de charge cognitive. Je limiterai cependant le recours à ces autres concepts au strict nécessaire et ils ne feront pas l'objet d'analyse à proprement parler, autre que celle directement liée aux concepts de charge cognitive à l'étude.

3.1. Question de recherche

La question de recherche du projet est la suivante :

« Quels sont les problèmes conceptuels des construits de charge cognitive suivants dans la théorie de la charge cognitive telle que formulée par John Sweller : charge cognitive, charge cognitive inutile, charge cognitive intrinsèque, charge cognitive pertinente, surcharge cognitive? »

3.2. Objectifs de la recherche

Pour répondre à la question de recherche, ce mémoire propose une analyse critique de la littérature visant deux objectifs.

Le premier objectif est celui d'évaluer les cinq concepts de charge cognitive proposés par la TCC afin « [...] d'évaluer] un ensemble d'énoncés théoriques afin de mettre en évidence ses lacunes, ses contradictions, ses paradoxes, ses conditions, ses présupposés, ses implications et ses conséquences, la plupart du temps non dites par les premiers auteurs. » (Van der Maren, 1996, p. 146).

Le deuxième objectif s'exprime également dans les mots de van der Maren quand il décrit l'une des visées fréquentes des analyses critiques, soit celle de « [...] proposer des améliorations, des reformulations, des compléments qui lui permettraient de paraître plus résistante sur le plan logique et plus crédible [...]. (Van der Maren, 1996, p. 146).

3.3. Retombées attendues de la recherche

Les retombées souhaitées de cette recherche sont un approfondissement théorique de la TCC menant à une clarification de ses cinq concepts de charge cognitive. Une telle clarification permettra d'améliorer la cohérence interne de la TCC. Ce développement théorique pourrait permettre de proposer des pistes de recherche empirique future, et à terme de préciser les conditions d'application de certains des principes de conception pédagogique de la TCC.

Chapitre 4 – Méthodologie

Ce mémoire répond à l'enjeu nomothétique en recherche, plus spécifiquement de type spéculatif ou théorique. Ce type d'enjeu nomothétique correspond à une démarche durant laquelle « le théoricien critique et reformule des théories selon les principes de l'analyse rhétorique ou logique ou à partir d'une argumentation de faits apportée par d'autres chercheurs » (Van der Maren, 1996, p. 62). Le mémoire propose une analyse critique de la TCC, centrée sur ses cinq concepts de charge cognitive.

Puisqu'il est question de critiquer et de reformuler des théories, les données à analyser dans une telle recherche sont des textes scientifiques (Assar, 2013). La démarche mise en œuvre dans l'analyse critique est un cas particulier de la revue de littérature. Bien que la revue de littérature soit une étape essentielle de tous les projets de recherche, elle peut en soi constituer un projet de recherche scientifique. Comme le souligne Assar :

[...] la revue de la littérature peut, en tant que telle, être l'objet principal et à part entière d'une publication de recherche. Elle prend alors la forme d'analyses et de synthèses structurées d'un ensemble précis de travaux antérieurs, avec l'ambition de devenir une publication de référence et un socle solide et reconnu sur lequel la communauté pourra s'appuyer pour explorer de nouvelles pistes. (2013, p. 1)

La démarche de revue de littérature employée dans cette recherche a été effectuée selon le modèle décrit par Randolph (2009). Randolph propose une approche structurée pour la revue de littérature, qu'il combine à une taxonomie développée par Cooper (1988, cité dans Randolph, 2009) permettant de bien situer le type de revue de littérature qui est attendu.

Les étapes structurées de la revue de littérature selon Randolph sont les suivantes. À chaque étape, j'explique brièvement la façon dont je m'y suis pris pour la mener à bien. Certaines étapes seront décrites avec plus de détails plus loin.

- **Étape 1 – Définition du problème** : Le problème a été formulé à partir d'une première revue exploratoire de la littérature faite en partie dans un cours de lectures dirigées et poursuivie lors du séminaire de mémoire. Les arguments construits lors de cette revue de littérature exploratoire et son résultat de cette ont été décrits dans le chapitre 2 du présent mémoire.

- **Étape 2 – Collecte de données** : Une nouvelle recherche documentaire ciblant les textes pertinents à la problématique et à la question de recherche a permis d'ajouter des articles à considérer dans l'analyse.
- **Étape 3 – Évaluation des données** : Une première lecture des titres et des résumés des articles a été réalisée dans le but de filtrer les articles sur la base de critères d'inclusion et d'exclusion décrits dans une prochaine section. Les articles retenus ont été lus pour confirmer leur pertinence pour l'analyse. À cette étape, de nouveaux articles ont été ajoutés en consultant les références des articles retenus, selon le procédé de « boule de neige ». Les étapes 2 et 3 ont été réitérés jusqu'à la saturation des données.
- **Étape 4 – Analyse et interprétation des données** : C'est ici que l'analyse critique des textes retenus à proprement parler s'effectue.
- **Étape 5 – Présentation publique** : Le dépôt du mémoire constitue la principale présentation publique. Éventuellement, le mémoire pourrait faire l'objet d'une présentation orale. Selon l'intérêt des résultats, ils pourraient possiblement mener à une communication dans un colloque ou à une publication dans une revue savante.

Afin de bien orienter l'analyse de la littérature et la rédaction du mémoire, il m'a paru important de bien circonscrire quelles sont les caractéristiques visées pour le document final. Randolph (2009) suggère de s'appuyer sur la taxonomie de Cooper (1988, cité dans Randolph, 2009) pour planifier une revue de littérature. Une telle planification permet de départager l'essentiel du superflu, et aussi de prévenir une certaine forme « d'inflation » en identifiant précisément la portée du projet de recherche. Suivant cette taxonomie, mon analyse critique des concepts de charge cognitive dans la TCC possède les caractéristiques suivantes :

1. **Objet** (« *Focus* ») : théorique. Les autres trois autres objets possibles selon la taxonomie de Cooper sont les résultats de recherche, la méthodologie de recherche et les applications de la recherche. L'objet théorique est clairement le plus pertinent pour le présent mémoire.
2. **But** : critique. Les deux autres buts possibles sont l'intégration et l'identification des principaux enjeux. À titre indicatif, la brève revue exploratoire présentée dans le chapitre 2 du présent mémoire (la problématique) avait comme but l'identification des principaux enjeux. Une fois ceux-ci identi-

fiés, l'enjeu de l'ambiguïté du concept de charge cognitive et de ses concepts associés a été retenu pour faire l'objet d'une analyse critique sous forme d'analyse conceptuelle.

3. **Perspective** : adoption d'une position. L'alternative est la représentation neutre. Comme le but de la recherche est de critiquer la TCC, cela correspond nécessairement à une certaine prise de position.
4. **Couverture** : centrale (traduction libre de « *central or pivotal* »). Les autres types sont la couverture exhaustive, parfois avec citation sélective, et la couverture représentative. L'objet du mémoire n'est pas de réviser toute la littérature sur la TCC, ni un sous-ensemble représentatif de celle-ci, mais bien de couvrir en profondeur un enjeu central bien identifié.
5. **Organisation** : l'analyse sera répartie en un chapitre organisé de façon historique (le chapitre 5) et deux chapitres organisés de façon conceptuelle (les chapitres 6 et 7). L'autre type d'organisation proposé dans la typologie de Cooper est l'organisation méthodologique; celle-ci ne s'applique pas au présent projet puisque la méthodologie des recherches analysées ne fait pas partie de la portée du mémoire.
6. **Public (audience)** : érudits spécialisés (« *specialized scholars* »). Les trois autres publics cibles identifiés dans la taxonomie de Cooper sont décrits selon un ordre décroissant d'expertise. Après les érudits spécialisés suivent les érudits en général (« *general scholars* »), les praticiens ou responsables de politiques publiques (« *practitioners or policymakers* ») et finalement le grand public (« *general public* »). Considérant que le sujet du mémoire est très spécialisé, puisqu'il nécessite une bonne compréhension de la théorie de la charge cognitive ainsi que de nombreux fondements en science cognitives, le public des érudits spécialisés semble le plus approprié. Autrement, le mémoire devrait être beaucoup plus long et présenter dans un langage accessible l'ensemble de la TCC ainsi que plusieurs fondements en sciences cognitives afin de mettre les lecteurs à niveau avant de pouvoir lire la discussion principale.

Puisque la revue de littérature est du type analyse critique de la littérature, et plus particulièrement une analyse conceptuelle, il convient ici de préciser ce qui la distingue des autres types de revues de littérature. Machado et Silva décrivent en quoi consiste une telle analyse.

« **Theoretical/conceptual analysis** [accentuation dans le texte original] *comprises the actions researchers engage in when they evaluate*

the language of their science. These actions include but are not limited to assessing the clarity or obscurity of scientific concepts, evaluating the precision or vagueness of scientific hypotheses, assessing the consistency or inconsistency of a set of statements and laws, and scrutinizing arguments and chains of inferences for unstated but crucial assumptions or steps. In general, then, the goal of conceptual analysis is to increase “the conceptual clarity of a theory through careful clarifications and specifications of meaning” (Laudan, 1977, p. 50). » (Machado & Silva, 2007, p. 671) ¹²

4.1. Collecte de données : stratégie de recherche

D’abord, une revue exploratoire a été conduite pour bien comprendre la TCC sous ses divers aspects. Trois monographies sur la TCC ont été lues (Chanquoy et al., 2007; Plaas et al., 2010; Sweller et al., 2011), de même qu’un ouvrage à destination des praticiens (R. C. Clark et al., 2006) ainsi que 46 articles repérés pour approfondir certains aspects et prendre connaissance des critiques, pour un total de 51 références consultées. Cette première revue exploratoire a permis de cerner la problématique et la question de recherche.

Tableau 4.1 – Liste des références de la revue exploratoire ayant permis de cibler la problématique et la question de recherche

1.	Beckmann, J. F. (2010). Taming a beast of burden — On some issues with the conceptualisation and operationalisation of cognitive load. <i>Learning and Instruction</i> , 20, 250-264.
2.	Bevilacqua, A. (2017). Commentary: Should Gender Differences be Included in the Evolutionary Upgrade to Cognitive Load Theory? <i>Educational Psychology Review</i> , 29(1), 189-194. doi:10.1007/s10648-016-9362-6
3.	Brünken, R., Plaas, J. L., & Moreno, R. (2010). Current Issues and Open Questions in Cognitive Load Research. In J. L. Plaas, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 253-272): Cambridge University Press.
4.	Brünken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning. <i>Educational Psychologist</i> , 38(1), 53-61.

¹² Il s’agit ici d’un cas particulier de double citation, où Machado et Silva citent Laudan textuellement à l’intérieur d’un passage de leur article que je cite moi-même. La façon de citer selon la norme APA dans ce cas particulier de double citation n’est pas claire. Par souci d’exactitude, j’ai donc choisi de laisser la citation intégrale de Laudan que font Machado et Silva, avec leur propre mention originale en format « auteur, année, page » entre parenthèses à l’intérieur des guillemets de ma propre citation.

5.	Brünken, R., Seufert, T., & Paas, F. (2010). Measuring Cognitive Load. In J. L. Plaas, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 181-202): Cambridge University Press.
6.	Brusling, C. (2005). Evidence-based practice in teaching and teacher education: What is it? What is the rationale? What is the criticism? Where to go now? (C. f. t. S. o. Professions, Trans.): Oslo University College.
7.	Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). <i>La charge cognitive : Théorie et applications</i> : Armand Colin.
8.	Chen, F., Zhou, J., Wang, Y., Yu, K., Arshad, S. Z., Khawaji, A., & Conway, D. (2016). <i>Robust Multimodal Cognitive Load Measurement</i> (1 ed.): Springer.
9.	Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? <i>Computers in Human Behavior</i> , 25(2), 315-324. doi: 10.1016/j.chb.2008.12.020
10.	Clark, R. C., Nguyen, F., & Sweller, J. (2006). <i>Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load</i> (1 ed.): Pfeiffer.
11.	Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. <i>Behavioral and brain science</i> , 24(1), 87-114.
12.	Davies, P. (1999). What is evidence-based education? <i>British Journal of Educational studies</i> , 47(2), 108-121.
13.	de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. <i>Instructional Science</i> , 38(2), 105-134. doi: 10.1007/s11251-009-9110-0
14.	Gerjets, P., Scheiter, K., & Cierniak, G. (2009). The Scientific Value of Cognitive Load Theory: A Research Agenda Based on the Structuralist View of Theories. <i>Educational Psychology Review</i> , 21(1), 43-54. doi: 10.1007/s10648-008-9096-1
15.	Hargreaves, D. H. (1999). Revitalising educational research: lessons from the past and proposals for the future. <i>Cambridge journal of education</i> , 29(2), 239-249.
16.	Hmelo-Silver, C. E., Golan Duncan, R., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). <i>EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST</i> , 42(2), 99-107.
17.	Horz, H., & Schnotz, W. (2010). Cognitive Load in Learning with Multiple Representations. In J. L. Plaas, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 229-252): Cambridge University Press.

18.	Kalyuga, S. (2010). Schema Acquisition and Sources of Cognitive Load. In J. L. Plaas, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (pp. 48-64): Cambridge University Press.
19.	Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? <i>Educational Psychology Review</i> , 23(1), 1-19. doi:10.1007/s10648-010-9150-7
20.	Kalyuga, S., & Singh, A.-M. (2016). Rethinking the Boundaries of Cognitive Load Theory in Complex Learning. <i>Educational Psychology Review</i> , 28(4), 831-852. doi:10.1007/s10648-015-9352-0
21.	Kirschner, P. A., Ayres, P., & Chandler, P. (2011). Contemporary cognitive load theory research: The good, the bad and the ugly. <i>Computers in Human Behavior</i> , 27(1), 99-105. doi: 10.1016/j.chb.2010.06.025
22.	Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. <i>EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST</i> , 41(2), 75-86.
23.	Korbach, A., Brünken, R., & Park, B. (2017a). Differentiating Different Types of Cognitive Load: a Comparison of Different Measures. <i>Educational Psychology Review</i> , 30?(1?). doi:10.1007/s10648-017-9404-8
24.	Korbach, A., Brünken, R., & Park, B. (2017b). Measurement of cognitive load in multimedia learning: a comparison of different objective measures. <i>Instructional Science</i> , 45(4), 515-536. doi:10.1007/s11251-017-9413-5
25.	Kuhn, D. (2007). Is Direct Instruction an Answer to the Right Question? <i>EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST</i> , 42(2), 109-113.
26.	Leahy, W., & Sweller, J. (2008). The imagination effect increases with an increased intrinsic cognitive load. <i>Applied Cognitive Psychology</i> , 22(2), 273-283. doi: 10.1002/acp.1373
27.	Mayer, R. E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for Guided Methods of Instruction. <i>American Psychologist</i> , 59(1), 14-19.
28.	Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. <i>THE PSYCHOLOGICAL REVIEW</i> , 63(2), 81-97.

29.	Moreno, R. (2006). When worked examples don't work: Is cognitive load theory at an Impasse? <i>Learning and Instruction</i> , 16, 170-181. doi: doi:10.1016/j.learninstruc.2006.02.006
30.	Moreno, R. (2010). Cognitive load theory: more food for thought. <i>Instructional Science</i> , 38(2), 135-141. doi: 10.1007/s11251-009-9122-9
31.	Moreno, R., & Park, B. (2010). Cognitive Load Theory: Historical Development and Relation to Other Theories. In J. L. Plaas, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 9-28): Cambridge University Press.
32.	Ozcinar, Z. (2009). The topic of instructional design in research journals: A citation analysis for the years 1980-2008. <i>Australasian Journal of Educational Technology</i> , 25(4), 559-580.
33.	Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. <i>Educational Psychologist</i> , 38(1), 1-4.
34.	Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. <i>Educational Psychologist</i> , 38(1), 63-71.
35.	Plaas, J. L., Kalyuga, S., & Leutner, D. (2010). Individual Differences and Cognitive Load. In J. L. Plaas, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 65-87): Cambridge University Press.
36.	Rowe, K. (2006). <i>Effective teaching practices for students with and without learning difficulties: Constructivism as a legitimate theory of learning AND of teaching?</i> Retrieved from https://research.acer.edu.au/learning_processes/10/
37.	Schmeck, A., Opfermann, M., van Gog, T., Paas, F., & Leutner, D. (2015). Measuring cognitive load with subjective rating scales during problem solving: differences between immediate and delayed ratings. <i>Instructional Science</i> , 43(1), 93-114. doi:10.1007/s11251-014-9328-3
38.	Schmidt, H. G., Loyens, S. M. M., van Gog, T., & Paas, F. (2007). Problem-Based Learning is Compatible with Human Cognitive Architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). <i>EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST</i> , 42(2), 91-97.
39.	Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A Reconsideration of Cognitive Load Theory. <i>Educational Psychology Review</i> , 19(4), 469-508. doi: 10.1007/s10648-007-9053-4
40.	Sweller, J. (2010a). Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. In J. L. Plaas, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 29-47): Cambridge University Press.

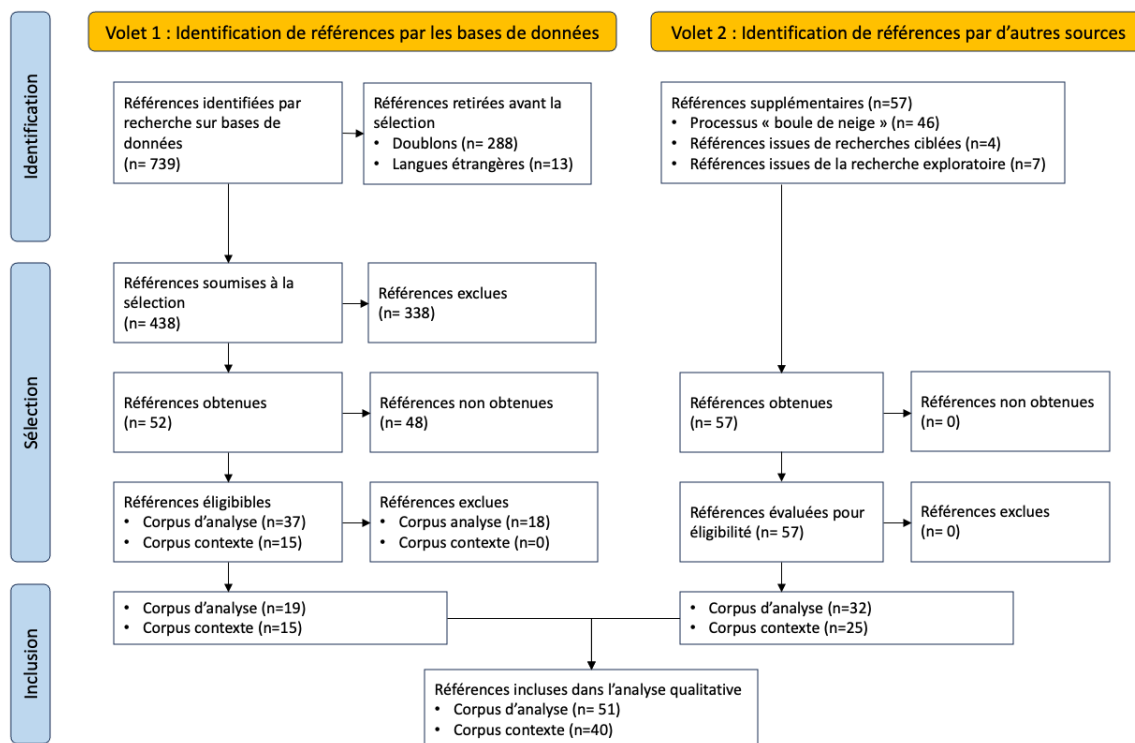
41.	Sweller, J. (2010b). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. <i>Educational Psychology Review</i> , 22(2), 123-138. doi: 10.1007/s10648-010-9128-5
42.	Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed.): Springer.
43.	Sweller, J., Kirschner, P. A., & Clark, R. E. (2007). Why Minimally Guided Teaching Techniques Do Not Work: A Reply to Commentaries. <i>EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST</i> , 42(2), 115-121.
44.	Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. <i>Educational psychology review</i> , 10, 251-296.
45.	Szulewski, A., Gegenfurtner, A., Howes, D. W., Sivilotti, M. L. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2017). Measuring physician cognitive load: validity evidence for a physiologic and a psychometric tool. <i>Advances in Health Sciences Education</i> , 22(4), 951-968. doi:10.1007/s10459-016-9725-2
46.	Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. <i>Revue de Psychologie de l'Education</i> (1), 37-64.
47.	Van Merriënboer, J. J. G., & Sluijsmans, D. M. A. (2009). Toward a Synthesis of Cognitive Load Theory, Four-Component Instructional Design, and Self-Directed Learning. <i>Educational Psychology Review</i> , 21(1), 55-66. doi: 10.1007/s10648-008-9092-5
48.	Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. <i>Educational Psychology Review</i> , 17(2), 147-177. doi: 10.1007/s10648-005-3951-0
49.	Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. <i>Medical education</i> , 44(1), 85-93. doi: 10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x
50.	Vogel-Walcutt, J. J., Gebrim, J. B., Bowers, C., Carper, T. M., & Nicholson, D. (2010). Cognitive load theory vs. constructivist approaches: which best leads to efficient, deep learning? <i>Journal of Computer Assisted Learning</i> , no-no. doi: 10.1111/j.1365-2729.2010.00381.x
51.	Young, J. Q., Irby, D. M., Barilla-LaBarca, M.-L., ten Cate, O., & O'Sullivan, P. S. (2016). Measuring cognitive load: mixed results from a handover simulation for medical students. <i>Perspectives on Medical Education</i> , 5(1), 24-32. doi:10.1007/s40037-015-0240-6

Une fois la problématique identifiée, j'ai choisi de centrer l'analyse sur les articles théoriques dont John Sweller est l'auteur ou un co-auteur (comme expliqué dans le précédent chapitre sur la question de recherche). Le choix de limiter ainsi le choix des articles s'explique par le rôle de figure d'autorité que John Sweller continue de jouer dans le champ théorique de la TCC encore à ce jour. Son influence est déterminante pour décider des éléments qui seront admis dans la TCC, et ce, même si des voix divergentes s'expriment parfois dans la communauté scientifique. Le choix de limiter l'analyse aux articles théoriques signés ou co-signés par John Sweller permet 1) de concentrer la portée du projet sur le niveau d'analyse pertinent, soit celui des concepts ou construits théoriques ciblés, et 2) de ne critiquer que les énoncés qui font « officiellement » partie de la TCC.

Si le corpus de textes à analyser est exclusivement constitué de textes où John Sweller est auteur ou co-auteur, l'analyse demeure éclairée par différents articles issus d'autres auteurs. Des articles rédigés par des auteurs autres que John Sweller ont donc été retenus *en appui* à l'analyse, pour informer celle-ci au regard du contexte dans lequel la TCC a évolué, de ses influences et de ses critiques. Ils représentent un ensemble de matériels facilitant l'analyse des textes de Sweller.

Après la revue exploratoire, une recherche de littérature ciblée sur les éléments pertinents à la problématique de recherche a été conduite en deux volets. Le premier volet a consisté en la recherche d'article sur la TCC dans trois bases de données spécialisées. Le deuxième volet a permis d'identifier des articles supplémentaires à consulter à partir des références de la revue exploratoire et de références citées dans les articles et chapitres retenus (technique dite « boule de neige »). Ces deux volets sont illustrés dans la prochaine figure et décrits dans les prochaines sous-sections.

Figure 4.1 – Résultats de la stratégie de recherche d'articles



La forme du diagramme présenté à la figure 4.1 est adaptée des balises PRISMA pour les revue systématiques, telles que présentées par Gedda (2015) et par (Page et al., 2021).

4.1.1. Volet 1 : recherche de littérature ciblée

Les bases de données EBSCOhost Academic Search Complete, Education Source, et ERIC ont été consultées le 21 juillet 2021 avec l'expression « Cognitive load theory » dans les champs suivants, avec opérateur OR pour cumuler les résultats de chaque champ :

- TI (titre)
- KW (mots-clés (« *identifiers* » avec ERIC))
- SU (sujet (« *descriptors* » avec ERIC)).

Le filtre permettant de limiter les résultats aux revues académiques a été utilisé dans les trois cas, afin d'écartier de la recherche les articles de vulgarisation destinés à des praticiens. La plage de temps pour la recherche était de 1982 à

ce jour ¹³, puisque les premiers articles à l'origine de la TCC remontent à 1982, bien que celle-ci n'ait été formalisé et nommée ainsi qu'à la fin des années 1980. Voici les résultats bruts de ces recherches :

- Academic search complete : 310 résultats (premier article en 1991).
- Education Source : 341 résultats (premier article en 1991).
- ERIC : 89 résultats (premier article en 1992).

En tout, 739 résultats ont été obtenus. Les résultats ont ensuite été consultés pour éliminer manuellement tous les doublons (288 doublons, dont plusieurs résultats en triple), de même que les articles dans des langues autres que l'anglais ou le français (13 articles : 4 en arabe, 1 en Grec moderne, 1 en polonais, 3 en espagnol, 2 en chinois, 2 en croate, 1 en portuguais, 1 en turc). Après ce premier tri, il restait 438 résultats à trier selon des critères d'inclusion et d'exclusion. Le tableau suivant présente les critères d'inclusion et d'exclusion.

Tableau 4.2 – Critères d'inclusion et d'exclusion des références

Type	Critère	Justification ou commentaire
Inclusion	Articles théoriques sur la TCC	Articles décrivant ou critiquant la TCC sur le plan théorique, ou articles comportant une portion de critique de la TCC.
Inclusion	Articles sur le développement (l'historique) de la TCC ou permettant de situer le contexte historique de son développement	Ces articles incluent des travaux réalisés par d'autres chercheurs que Sweller sur lesquels il s'appuie pour justifier des aspects de la TCC.
Inclusion	Articles synthèse sur la TCC	Ces articles permettent de poser un regard sur la façon dont l'évolution de la TCC s'est faite au fil des années et des recherches, en expliquant l'état de la TCC au moment où ils sont publiés.

¹³ La revue exploratoire a permis de situer les premiers articles de John Sweller liés à la TCC à 1982, et la recherche dans les bases de données a été réalisée le 21 juillet 2021. Certains articles disponibles électroniquement en 2021 sont identifiés avec une date de publication officielle de 2022 compte tenu de la date prévue de publication du numéro de la revue, même si le texte est disponible en ligne quelques mois plus tôt.

Inclusion	Articles critiques de la TCC	Incluant les études empiriques qui mènent à des critiques.
Exclusion	Textes dont John Sweller n'est pas un auteur	<i>Critère d'exclusion uniquement pour le corpus d'analyse.</i> Afin d'analyser les cinq concepts de CC depuis l'unique perspective de John Sweller, il fallait écarter les textes dont il n'est ni auteur ni co-auteur.
Exclusion	Études strictement empiriques	La majorité des articles scientifiques sur la TCC est constituée de rapport de recherches empiriques qui ne proposent pas de changement à la théorie elle-même ¹⁴ . Ils sont donc de peu d'intérêt pour la présente recherche. Les articles dont le résumé indique une discussion d'aspects théoriques peuvent toutefois être retenus si la discussion est pertinente à l'objet de la présente recherche.
Exclusion	Études sur la charge cognitive en contexte autres que l'apprentissage	L'intérêt de la présente recherche est la charge cognitive en contexte d'apprentissage. La CC et des concepts connexes sont aussi étudiés dans d'autres disciplines, notamment ceux de l'ergonomie, de la performance au travail ou de la conduite automobile. Les articles portant sur les domaines autres que l'apprentissage ou réalisés hors du cadre théorique de la TCC ont été exclus de la présente analyse.
Exclusion	Textes critiquant d'autres problématiques de la TCC que celles pertinentes à la question de recherche	Certains articles sont centrés sur l'explication ou la critique d'aspects théoriques de la TCC autres que ceux visés par la présente recherche.

¹⁴ Par exemple, plusieurs études rapportent les résultats de l'application de la TCC à une situation particulière. On voit aussi beaucoup d'études sur des effets de CC déjà bien établis afin de préciser comment ils sont affectés par certains paramètres.

Exclusion	Textes rédigés dans une autre langue que le français ou l'anglais	Ce sont les deux langues que je suis en mesure de lire et de comprendre parfaitement. Par ailleurs, la langue anglaise est la langue la plus utilisée, et de loin, dans les publications scientifiques sur la TCC. Il s'agit de la langue dans laquelle John Sweller publie ses articles.
------------------	---	---

Dans un premier temps, les résultats ont été traités en lisant la liste des auteurs et le titre pour éliminer ceux qui répondaient de façon évidente aux critères d'exclusion et ne répondaient à aucun critère d'inclusion. En cas de doute en lisant le titre seul, le sommaire (*abstract*) était consulté pour poser un jugement d'exclusion si approprié. Dans un deuxième temps, les articles restants ont été lus pour poursuivre les décisions d'inclusion et d'exclusion. Au terme de l'application de tous les critères, 19 articles ont été retenus pour le corpus d'analyse de textes de John Sweller et 15 articles dont John Sweller n'est pas un des auteurs ont été retenus pour les faciliter l'interprétation du corpus des textes de Sweller.

4.1.2. Volet 2 : ajout de nouvelles sources pertinentes en cours de recherche

Une vérification manuelle a été faite pour s'assurer que les articles pertinents repérés pendant la revue exploratoire de la littérature faisaient aussi partie du corpus de textes retenus pour l'analyse. Certaines sources qui n'avaient pas été repérées dans les bases données ont ainsi été ajoutées.

De plus, à partir des références des articles retenus, d'autres sources répondant aux critères d'inclusion ont été identifiées comme pertinentes pour poursuivre l'analyse. C'est ainsi que la plupart des articles publiés dans les années 1980 et 1990 ont été repérés, mais aussi d'autres sources pertinentes.

Pendant le travail d'analyse et de rédaction en 2022 et 2023, certaines questions ont émergé qui ont mené à des recherches ciblées supplémentaires pour vérifier si de nouveaux changements conceptuels ont été introduits après la recherche initiale dans les bases de données en 2021.

Grâce à ces trois démarches de recherche complémentaires, 57 sources supplémentaires ont été ajoutées.

En somme, 51 textes signés ou co-signés par John Sweller ont été considérés pour les analyses historique et critique. Cependant, certains de ces textes n'ont pas été cités dans les chapitres décrivant le résultat de ces analyses car

ils n'apportaient pas de nouvelle information sur les cinq concepts à l'étude ¹⁵, indiquant par le fait même que la revue de littérature a permis d'atteindre la saturation quant aux idées exprimées sur les concepts ciblés pour l'analyse.

Le tableau suivant identifie tous les textes (articles, chapitres, livres) dont Sweller est auteur ou co-auteur qui ont été analysés. Il s'agit du « corpus d'analyse » du diagramme de résultats de la stratégie de recherche d'articles de la figure 4.1.

Tableau 4.3 – Textes de John Sweller retenus pour les analyses historique et conceptuelle, en ordre chronologique de publication

1.	Mawer, R. F., & Sweller, J. (1982). Effects of subgoal density and location on learning during problem solving. <i>Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition</i> , 8(3), 252-259. doi:10.1037/0278-7393.8.3.252
2.	Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means–ends analysis and learning. <i>Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition</i> , 8(5), 463-474. doi:10.1037/0278-7393.8.5.463
3.	Sweller, J., Mawer, R. F., & Howe, W. (1982). Consequences of history-cued and means-end strategies in problem solving. <i>The American Journal of Psychology</i> , 455-483.
4.	Sweller, J. (1983). Control mechanisms in problem solving. <i>Memory & Cognition</i> , 11(1), 32-40.
5.	Sweller, J., Mawer, R. F., & Ward, M. R. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. <i>Journal of Experimental Psychology: General</i> , 112(4), 639-661. doi:10.1037/0096-3445.112.4.639
6.	Owen, E., & Sweller, J. (1985). What do students learn while solving mathematics problems? <i>Journal of Educational Psychology</i> , 77(3), 272-284. doi:10.1037/0022-0663.77.3.272
7.	Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. <i>Cognition and Instruction</i> , 2(1), 59-89.
8.	Cooper, G., & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. <i>Journal of Educational Psychology</i> , 79(4), 347-362. doi:10.1037//0022-0663.79.4.347
9.	Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. <i>Cognitive Science</i> , 12(2), 257-285. doi:10.1207/s15516709cog1202_4

¹⁵ C'est notamment le cas lorsque pour une certaine phase de développement de la TCC, John Sweller a publié plusieurs articles ou chapitres de livres décrivant la TCC sans apporter de contributions distinctes. Bref, des textes qui répètent sensiblement les mêmes idées.

10.	Owen, E., & Sweller, J. (1989). Should Problem Solving Be Used as a Learning Device in Mathematics? <i>Journal for Research in Mathematics Education</i> , 20(3), 322-328.
11.	Sweller, J. (1989). Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. <i>Journal of Educational Psychology</i> , 81(4), 457-466. doi: https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.4.457
12.	Isaacs, I., Sweller, J., & Owen, E. (1990). Letters to the Editor. <i>Journal for Research in Mathematics Education</i> , 21(1), 91.
13.	Sweller, J. (1990). On the Limited Evidence for the Effectiveness of Teaching General Problem-Solving Strategies. <i>Journal for Research in Mathematics Education</i> , 21(5), 411-415.
14.	Sweller, J. (1990). Cognitive Processes and Instruction Procedures. <i>Australian Journal of Education</i> , 34(2), 125-130.
15.	Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. <i>Journal of Experimental Psychology: General</i> , 119(2), 176-192. doi: 10.1037//0096-3445.119.2.176
16.	Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. <i>Cognition & Instruction</i> , 8(4), 293. doi: 10.1207/s1532690xci0804_2
17.	Sweller, J., & Chandler, P. (1991). Evidence for Cognitive Load Theory. <i>Cognition & Instruction</i> , 8(4), 351-362. doi: 10.1207/s1532690xci0804_5
18.	Sweller, J., & Low, R. (1992). Some Cognitive Factors Relevant to Mathematics Instruction. <i>Mathematics Education Research Journal</i> , 4(1), 83-94.
19.	Sweller, J. (1993). Some cognitive processes and their consequences for the organisation and presentation of information. <i>Australian Journal of Psychology</i> , 45(1), 1-8. doi: 10.1080/00049539308259112
20.	Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. <i>Learning & Instruction</i> , 4(4), 295-312. doi: 10.1016/0959-4752(94)90003-5
21.	Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. <i>Cognition and Instruction</i> , 12(3), 185-233. doi: 10.1207/s1532690xci1203_1
22.	Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. <i>Educational Psychology Review</i> , 10(3), 251-296.
23.	Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. H. Ross (Ed.), <i>The psychology of learning and motivation</i> (Vol. 43, pp. 216-266): Academic Press (Elsevier).
24.	Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. <i>Educational Psychologist</i> , 38(1), 1-4. doi: 10.1207/S15326985EP3801_1
25.	Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory. <i>Symposium</i> , 38(1), 5-71. doi: 10.1207/S15326985EP3801_8

26.	Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Advances in Cognitive Load Theory, Methodology and Instructional Design. <i>Symposium</i> , 32(1/2), 1-182. Retrieved from http://search.ebscohost.com.tlqprox.teluq.uquebec.ca/login.aspx?direct=true&db=eue&AN=507876872&lang=fr&site=ehost-live&scope=site
27.	Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture. <i>Instructional Science</i> , 32(1-2), 1-8.
28.	Sweller, J. (2004). Instructional Design Consequences of an Analogy between Evolution by Natural Selection and Human Cognitive Architecture. <i>Instructional Science</i> , 32(1-2), 9-31.
29.	van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. <i>Educational Psychology Review</i> , 17(2), 147-177. http://dx.doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0
30.	Clarke, T., Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The Impact of Sequencing and Prior Knowledge on Learning Mathematics through Spreadsheet Applications. <i>Educational Technology Research and Development</i> , 53(3), 15-24. doi:10.1007/BF02504794
31.	Sweller, J. (2006). Discussion of 'emerging topics in cognitive load research: using learner and information characteristics in the design of powerful learning environments'. <i>Applied Cognitive Psychology</i> , 20(3), 353-357. doi:10.1002/acp.1251
32.	Sweller, J., & Sweller, S. (2006). Natural Information Processing Systems. <i>Evolutionary Psychology</i> , 4(1), 147470490600400. doi:10.1177/147470490600400135
33.	Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). <i>La charge cognitive : Théorie et applications</i> : Armand Colin.
34.	Sweller, J. (2008). Cognitive Load Theory and the Use of Educational Technology. <i>Educational Technology</i> , 48(1), 32-35.
35.	Sweller, J. (2008). Instructional Implications of David C. Geary's Evolutionary Educational Psychology. <i>Educational Psychologist</i> , 43(4), 214-216.
36.	Pass, F., Van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: New Conceptualizations, Specifications, and Integrated Research Perspectives. <i>Educational Psychology Review</i> , 22(2), 115-121. doi:10.1007/s10648-010-9133-8
37.	Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. Part of a special issue: Cognitive Load Theory: New Conceptualizations, Specifications, and Integrated Research Perspectives; Review article, 22(2), 123-138. doi:10.1007/s10648-010-9128-5
38.	Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. In J. L. Paas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 29-47): Cambridge University Press.

39.	van Gog, T., Paas, F., & Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: Advances in Research on Worked Examples, Animations, and Cognitive Load Measurement. <i>Educational Psychology Review</i> , 22(4), 375-378. doi:10.1007/s10648-010-9145-4
40.	van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. <i>Medical Education</i> , 44(1), 85-93. doi:10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x
41.	Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed.): Springer.
42.	Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In <i>Psychology of learning and motivation</i> (Vol. 55, pp. 37-76).
43.	Paas, F., & Sweller, J. (2012). An Evolutionary Upgrade of Cognitive Load Theory: Using the Human Motor System and Collaboration to Support the Learning of Complex Cognitive Tasks. <i>Educational Psychology Review</i> , 24(1), 27-45.
44.	Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-Specific Knowledge and Why Teaching Generic Skills Does Not Work. <i>Educational Psychology Review</i> , 26(2), 265-283. doi:10.1007/s10648-013-9243-1
45.	Youssef-Shalala, A., Ayres, P., Schubert, C., & Sweller, J. (2014). Using a general problem-solving strategy to promote transfer. <i>Journal of Experimental Psychology: Applied</i> , 20(3), 215-231. doi:10.1037/xap0000021
46.	Sweller, J. (2015). In <i>Academe, What Is Learned, and How Is It Learned?</i> <i>Current Directions in Psychological Science</i> , 24(3), 190-194.
47.	Sweller, J. (2016). Working Memory, Long-term Memory, and Instructional Design. <i>Journal of Applied Research in Memory and Cognition</i> , 5(4), 360-367. doi:10.1016/j.jarmac.2015.12.002
48.	Sweller, J. (2016). Story of a Research Program. <i>Education Review // Reseñas Educativas</i> , 23. doi:10.14507/er.v23.2025
49.	Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. <i>Educational Psychology Review</i> , 31(2), 261-292. doi:10.1007/s10648-019-09465-5
50.	Sweller, J. (2020). Cognitive Load Theory and Educational Technology. <i>Educational Technology Research and Development</i> , 68(1), 1-16.
51.	Sweller, J. (2023). Discussion of the special issue on cognitive load theory. <i>British Journal of Educational Psychology</i> , 93(S2), 402-410. https://doi.org/10.1111/bjep.12606

Outre les textes de John Sweller, les textes suivants publiés par d'autres auteurs ont enrichi les analyses historique et conceptuelle en permettant de prendre connaissance des critiques publiées de la TCC, de l'origine de certaines idées de Sweller, d'interprétations alternatives de certains phénomènes, et d'autres modèles et idées en lien direct ou indirect avec la TCC. Il s'agit du

« corpus contexte » du diagramme des résultats de la stratégie de recherche d'articles à la figure 4.1.

Tableau 4.4 – Textes d'autres auteurs que John Sweller ayant contribué aux analyses historique et conceptuelle, en ordre chronologique de publication

1.	Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. <i>THE PSYCHOLOGICAL REVIEW</i> , 63(2), 81-97.
2.	Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In <i>Psychology of learning and motivation</i> (Vol. 8, pp. 47-89): Elsevier.
3.	Simon, H. A. (1974). How Big Is a Chunk? By combining data from several experiments, a basic human memory unit can be identified and measured. <i>Science</i> , 183(4124), 482-488.
4.	Maybery, M. T., Bain, J. D., & Halford, G. S. (1986). Information-processing demands of transitive inference. <i>Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition</i> , 12(4), 600.
5.	Halford, G. S., Maybery, M. T., & Bain, J. D. (1986). Capacity limitations in children's reasoning: A dual-task approach. <i>Child Development</i> , 616-627.
6.	Lawson, M. J. (1990). Critique: The Case for Instruction in the Use of General Problem-Solving Strategies in Mathematics Teaching: A Comment on Owen and Sweller. <i>Journal for Research in Mathematics Education</i> , 21(5), 403-410. doi: https://doi.org/10.5951/jresema-theduc.21.5.0403
7.	Dixon, P. (1991). From Research to Theory to Practice: Commentary on Chandler and Sweller. <i>Cognition and Instruction</i> , 8(4), 343-350.
8.	Goldman, S. (1991). On the Derivation of Instructional Applications From Cognitive Theories: Commentary on Chandler and Sweller. <i>Cognition and Instruction</i> , 8(4), 333-342.
9.	Baddeley, A. (1992). Working Memory. <i>Science</i> , 255(5044), 556-559.
10.	Anderson, J. R. (1993). Problem solving and learning. <i>American Psychologist</i> , 48(1), 35-44. doi:10.1037/0003-066X.48.1.35
11.	Halford, G. S., Wilson, W. H., & Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. <i>Behavioral and brain sciences</i> , 21(6), 803-831. doi:10.1017/S0140525X98001769
12.	Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working Memory: The Multiple-Component Model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), <i>Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control</i> (pp. 28-61). Cambridge: Cambridge University Press.
13.	Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of Working Memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), <i>Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control</i> (pp. 62-101). Cambridge: Cambridge University Press.

14.	Bachelder, B. L. (2001). The magical number 4 5 7: Span theory on capacity limitations. <i>Behavioral and brain sciences</i> , 24(1), 116-117.
15.	Baddeley, A. (2001). The magic number and the episodic buffer. <i>Behavioral and brain science</i> , 24(1), 117-118.
16.	Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. <i>Behavioral and brain science</i> , 24(1), 87-114.
17.	Valcke, M. (2002). Cognitive load: updating the theory? <i>Learning & Instruction</i> , 12(1), 147-154. doi:10.1016/S0959-4752(01)00022-6
18.	Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. <i>EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST</i> , 38(1), 63-71.
19.	Moreno, R. (2006). When worked examples don't work: Is cognitive load theory at an impasse? <i>Learning and Instruction</i> , 16, 170-181. doi:doi:10.1016/j.learninstruc.2006.02.006
20.	Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A Reconsideration of Cognitive Load Theory. <i>Educational Psychology Review</i> , 19(4), 469-508. doi:10.1007/s10648-007-9053-4
21.	Clark, R. E., Feldon, D. F., van Merriënboer, J. J., Yates, K. A., & Early, S. (2008). Cognitive task analysis. In <i>Handbook of research on educational communications and technology</i> (3rd ed., pp. 577-593): Routledge.
22.	Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? <i>Computers in Human Behavior</i> , 25(2), 315-324. doi:10.1016/j.chb.2008.12.020
23.	Gerjets, P., Scheiter, K., & Cierniak, G. (2009). The Scientific Value of Cognitive Load Theory: A Research Agenda Based on the Structuralist View of Theories. <i>Educational Psychology Review</i> , 21(1), 43-54. doi:10.1007/s10648-008-9096-1
24.	Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? <i>Computers in Human Behavior</i> , 25(2), 315-324. doi:10.1016/j.chb.2008.12.020
25.	Beckmann, J. F. (2010). Taming a beast of burden — On some issues with the conceptualisation and operationalisation of cognitive load. <i>Learning and Instruction</i> , 20, 250-264.
26.	Brünken, R., Plaas, J. L., & Moreno, R. (2010). Current Issues and Open Questions in Cognitive Load Research. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 253-272): Cambridge University Press.
27.	Brünken, R., Seufert, T., & Paas, F. (2010). Measuring Cognitive Load. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 181-202): Cambridge University Press.
28.	de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. <i>Instructional Science</i> , 38(2), 105-134. doi:10.1007/s11251-009-9110-0

29.	Horz, H., & Schnotz, W. (2010). Cognitive Load in Learning with Multiple Representations. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), <i>Cognitive Load Theory</i> (1 ed., pp. 229-252): Cambridge University Press.
30.	Moreno, R. (2010). Cognitive load theory: more food for thought. <i>Instructional Science</i> , 38(2), 135-141. doi:10.1007/s11251-009-9122-9
31.	Schnotz, W. (2010). Reanalyzing the expertise reversal effect. <i>Instructional Science</i> , 38(3), 315-323. doi:10.1007/s11251-009-9104-y
32.	Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four: How Is Working Memory Capacity Limited, and Why? <i>Current directions in psychological science</i> , 19(1), 51-57.
33.	Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? <i>Educational Psychology Review</i> , 23(1), 1-19. doi:10.1007/s10648-010-9150-7
34.	Schüler, A., Scheiter, K., & Genuchten, E. (2011). The Role of Working Memory in Multimedia Instruction: Is Working Memory Working During Learning from Text and Pictures? <i>Educational Psychology Review</i> , 23(3), 389-411. doi:10.1007/s10648-011-9168-5
35.	Valcke, M. (2011). Cognitive Load Theory: A Step Forward? <i>Educational Technology</i> , 51(3), 53-55.
36.	Cowan, N. (2014). Working Memory Underpins Cognitive Development, Learning, and Education. <i>Educational Psychology Review</i> , 26(2), 197-223. doi:10.1007/s10648-013-9246-y
37.	Schweppe, J., & Rummer, R. (2014). Attention, Working Memory, and Long-Term Memory in Multimedia Learning: An Integrated Perspective Based on Process Models of Working Memory. <i>Educational Psychology Review</i> , 26(2), 285-306. doi:10.1007/s10648-013-9242-2
38.	Soemer, A. (2015). The Multicomponent Working Memory Model, Attention, and Long-term Memory in Multimedia Learning: A Comment on Schweppe and Rummer (2014). <i>Educational Psychology Review</i> , 1-4. doi:10.1007/s10648-015-9303-9
39.	Schweppe, J., & Rummer, R. (2015). Attention and Long-Term Memory in System and Process Theories of Working Memory: A Reply to Soemer's (2015) Comment on Schweppe and Rummer (2014). <i>Educational Psychology Review</i> , 1-4. doi:10.1007/s10648-015-9336-0
40.	Kalyuga, S., & Singh, A.-M. (2016). Rethinking the Boundaries of Cognitive Load Theory in Complex Learning. <i>Educational Psychology Review</i> , 28(4), 831-852. doi:10.1007/s10648-015-9352-0

4.2. Analyse historique (descriptive)

L'analyse historique débute avec un regard sur le développement des cinq concepts ciblés, afin de comprendre leur évolution jusqu'à leurs définitions actuelles, de même que leur rôle dans les phénomènes de charge cognitive en situation d'apprentissage. Le principal intérêt de l'analyse historique est qu'en retraçant les étapes de développement d'une théorie, elle permet de situer le

contexte historique de l'évolution de ses concepts et ainsi de mieux comprendre les raisons derrière certains choix théoriques. Toutes ces informations peuvent éclairer l'analyse conceptuelle. Comme le dit George : « [...] *the question as to why a theory took a particular shape as opposed to another is part of the understanding of the theory. In other words, history of a theory is inseparable from understanding it* » (1973, p. 25).

Machado et ses collègues estiment eux aussi qu'il est pertinent de s'attarder à l'histoire d'une théorie que l'on analyse, afin de prévenir des interprétations erronées de la théorie ou de ses concepts (Machado et al., 2000, p. 5).

L'analyse historique effectuée a permis de retracer l'émergence et l'évolution des cinq concepts de charge cognitive dans la TCC. Cette analyse a été réalisée à partir des articles théoriques signés ou co-signés par John Sweller ayant marqué le début de chacune des étapes d'évolution de la TCC, que nous pourrions appeler des périodes. Pour chacune de ces périodes, les descriptions, les définitions ou les explications de chacun des concepts de charge cognitive ont été repérées et analysées. Pour mieux situer cette évolution des concepts, je propose ma propre périodisation de l'évolution de la TCC, légèrement différente de celle proposée par Moreno et Park (2010), citée dans la problématique. Ma proposition de périodisation est plus granulaire que celle de Moreno et Park pour les premières étapes de développement de la TCC. De plus, elle tient compte de développements de la TCC postérieurs à leur publication en établissant une nouvelle période à compter de 2010, suite à la reconceptualisation des trois types de charge cognitive (inutile, intrinsèque et pertinente), proposée par Sweller (2010b).

Les articles marquant le passage à chaque nouvelle période ont été lus et l'historique des concepts visés a été retracé en détail afin de documenter l'évolution des différents construits. Cette analyse se retrouve au chapitre 5.

4.3. Analyse critique (interprétative)

L'analyse historique trouve son terme dans la période contemporaine, avec la description la plus récente des cinq concepts de charge cognitive. C'est cet état contemporain de la théorie qui fait l'objet de l'analyse conceptuelle critique présentée dans le chapitre suivant (chapitre 6). Chacun des cinq construits a été analysé en considérant les critiques formulées par d'autres chercheurs, dans une analyse originale allant au-delà de celles rapportées dans la littérature, et s'intéressant notamment aux sources de problèmes conceptuels identifiées par

Machado et Silva (2007), déjà citées dans la problématique. La démarche vise l'identification des éventuelles contradictions, lacunes et incohérences dans les définitions ou explications de chacun des concepts et de leurs interrelations. Puisque la charge cognitive représente l'utilisation des ressources de la mémoire de travail, j'ai porté une attention particulière au fonctionnement de la MdT.

4.4. Nouvelles définitions des concepts de charge cognitive

L'analyse conceptuelle a mené à la proposition de nouvelles définitions pour chacun des cinq concepts analysés, au chapitre 7. Ces définitions visent à résoudre les problèmes identifiés dans l'analyse conceptuelle. Elles se veulent précises, univoques, cohérentes entre elles, et rendent compte adéquatement des résultats empiriques obtenus jusqu'à maintenant.

4.5. Note sur les citations

Puisque la recherche rapportée dans ce mémoire est une analyse critique de la littérature, je réfère abondamment à celle-ci tant dans une perspective d'analyse historique que d'analyse conceptuelle. Je résume souvent des articles complets, particulièrement dans l'analyse historique, et je cite plusieurs extraits d'articles. Cela peut entraîner une certaine lourdeur dans les citations et dans les références. J'ai donc utilisé la flexibilité offerte dans la norme APA dans la perspective de citer correctement mes sources, de permettre au lecteur de repérer facilement les parties de texte où j'ai puisé les idées rapportées, tout en cherchant à faciliter la lecture et à éviter la surcharge de références redondantes.

De plus, plusieurs parties de mon analyse reposent sur des prémisses implicites que je révèle par une forme « d'exégèse » des textes. Ce procédé demande une lecture attentive et précise de certains extraits révélateurs, afin de dégager soit le sens précis accordé à certains concepts ou – inversement – le flou qui les entoure, soit les idées sous-jacentes qui ne sont pas explicitées. J'ai donc jugé essentiel de citer des extraits dans la langue originale anglaise afin d'éviter toute perte de nuance ou changement subtil de signification dans la traduction. La formulation originale exacte des auteurs est celle que j'ai analysée et c'est celle que je cite.

Dans la même intention, j'ai beaucoup utilisé l'accentuation de certaines parties des citations pour indiquer les parties les plus révélatrices au sein d'une citation donnée.

Ces deux choix entraînent certaines pratiques de citation compatibles avec la norme APA, quoique moins fréquemment utilisées, et quelques adaptations que j'explique dans les prochaines sous-sections.

4.5.1. Numéros de pages des citations en paraphrase

Bien qu'il soit usuel de ne pas indiquer les numéros de page des citations sous forme de paraphrase, la norme APA indique toutefois qu'il est pertinent de le faire pour faciliter le repérage du passage de l'œuvre originale où l'idée citée est exprimée, notamment lorsqu'il s'agit d'un ouvrage long ou complexe tel qu'un livre.

Comme je réfère parfois à des extraits de livres, ou encore à des passages très précis d'un article ou d'un chapitre qui doivent être faciles à identifier pour le lecteur qui souhaiterait consulter par lui-même le texte paraphrasé pour juger de mon interprétation, je mentionne très souvent les numéros de pages même pour les paraphrases.

4.5.2. Forme des citations dans la langue originale anglais

Le guide de citation de la bibliothèque de la TÉLUQ indique que dans le cas de citations d'un texte dans une autre langue, il faut trouver une traduction ou rédiger une traduction libre. Comme mon analyse requiert le texte original anglais, j'ai adopté le style APA recommandé pour ce cas particulier qui est de placer la citation entre guillemets, même pour les citations longues, et d'utiliser le style de caractère italique pour le texte.

4.5.3. Signalement de l'accentuation de passages dans le texte original cité

Puisque le style italique est utilisé pour tous les passages cités dans la langue originale anglaise, j'utilise l'inversion vers le style de caractères régulier (i.e. non-italique) ainsi que le gras pour indiquer les passages accentués dans le texte original. Ceux-ci sont le plus souvent en italique dans le texte original lorsque celui-ci en contient. L'inversion de l'italique vers le caractère régulier pour signaler l'accentuation du texte original dans la citation est une convention fréquemment utilisée pour ce genre de cas. L'ajout du gras permet de mieux repérer ces accentuations, car les mots en caractères réguliers dans un texte en italique ressortent moins. La norme APA prescrit d'indiquer entre crochets qu'il s'agit de l'accentuation originale du texte cité juste après les mots accentués.

4.5.4. Signalement de l'ajout d'accentuation de passages

Lorsque l'on ajoute de l'accentuation dans un passage cité, la norme APA suggère l'italique pour l'accentuation ainsi que l'ajout entre crochets après chaque groupe de mots ainsi accentué d'une indication que l'accentuation est ajoutée.

Puisque j'utilise déjà l'italique pour citer en anglais et le caractère régulier et gras pour les accentuations du texte original, j'utilise le caractère italique et gras pour les accentuations ajoutées. Ce choix n'est pas incompatible avec la norme APA, qui est flexible à cet égard.

Cependant, pour éviter d'alourdir les extraits cités qui présentent souvent plusieurs groupes de mots accentués, je n'ajoute qu'une seule mention entre crochets pour toutes les accentuations ajoutées à une même citation à la fin de celle-ci, à l'intérieur des guillemets, avant de mentionner la source. Une abondance de mentions entre crochets dans une même extrait entravent la bonne compréhension du texte à analyser. Ils constituent, pour faire une mise en abîme, une source de charge cognitive inutile pour le lecteur. Je m'assure toutefois de ne laisser aucune ambiguïté sur ce qui est accentué ou non ainsi que sur l'origine de l'accentuation (celle de l'auteur original de l'extrait cité, ou la mienne).

4.5.5. Discussion d'un même article pendant une longue section de texte

Il est fréquent, particulièrement dans le chapitre 5 sur l'analyse historique, que je décrive les idées issues d'un même article pendant plusieurs paragraphes, parfois même plusieurs pages. Dans un tel cas, comme la norme APA le recommande, je ne répéterai pas chaque fois la référence sous la forme auteur-année entre parenthèses, afin d'éviter d'alourdir le texte. Si toutefois mon texte pouvait porter à confusion sur la source que je suis en train de résumer, j'ajouterai la référence à nouveau.

Chapitre 5 – Analyse historique

J'ai expliqué dans les chapitres précédents que, bien que plusieurs auteurs aient contribué à faire évoluer la TCC, c'est le chercheur John Sweller qui en est considéré le « père fondateur » (Tricot, 1998). Ce chercheur est auteur ou co-auteur des articles majeurs jalonnant de nouveaux développements de la TCC. Il n'est pas à l'origine de toutes les idées qui ont marqué les différentes phases de développement de la TCC, mais ce n'est que lorsqu'il les sanctionne en les intégrant dans des articles dont il est auteur ou co-auteur que l'on peut véritablement considérer que ces idées font partie de la TCC.

5.1. Périodisation de l'historique du développement de la TCC

Moreno et Park (2010) ont déjà proposé une périodisation du développement de la TCC en quatre étapes, qui a déjà été décrite au chapitre 2. Après avoir lu tous les articles de John Sweller qui jalonnent le développement de la TCC, j'estime qu'une périodisation plus granulaire permet de mieux cerner les jalons marquant l'émergence et l'évolution de chacun des concepts de charge cognitive.

Moreno et Park réunissent dans leur étape I tous les travaux antérieurs à la proposition du concept de charge cognitive intrinsèque. C'est cette étape qui manque de granularité si l'on veut établir une période de référence pour l'introduction ou l'évolution de chacun des changements conceptuels dans le développement de la TCC. Ma propre périodisation scinde donc cette première étape délimitée par Moreno et Park en trois périodes distinctes :

- la période pré-théorisation, durant laquelle les premières hypothèses liées à la charge cognitive comme facteur influençant l'apprentissage sont formulées;
- la période débutant avec la formulation initiale de la TCC, alors centrée sur la notion de « lourde charge cognitive »;
- la période débutant avec la formulation du concept de charge cognitive inutile, qui est également celle où la TCC est nommée « théorie de la charge cognitive » (« *cognitive load theory* ») pour la première fois par Sweller.

Les trois périodes suivantes décrites par Moreno et Park correspondent chacune à un seul jalon de développement conceptuel de la TCC. Je retiens donc exactement les mêmes jalons délimitant ces périodes.

La TCC a connu un autre changement conceptuel majeur à compter de 2010, lorsque John Sweller reformule les concepts de charge cognitive inutile, intrinsèque et pertinente. Cette transformation conceptuelle marque, dans la périodisation que je propose, le début d'une nouvelle période. Aucun autre changement conceptuel n'a été noté depuis et il s'agit donc de la période contemporaine.

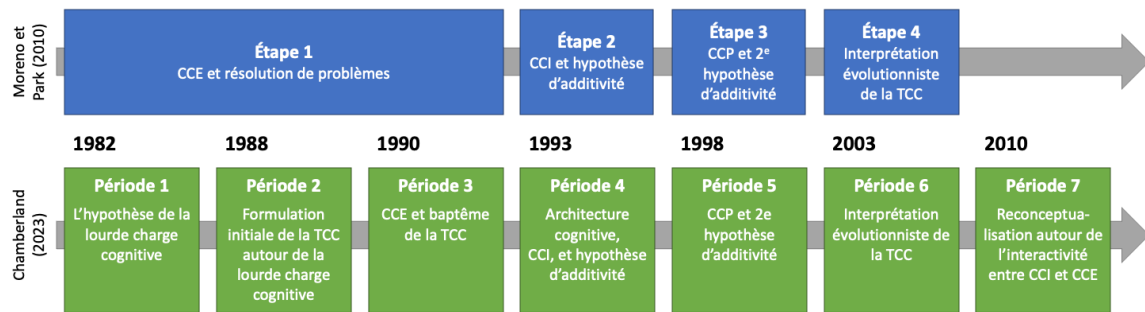
En somme, voici la périodisation complète que je propose pour décrire l'évolution de la TCC :

- Période 1 : période pré-théorique, où émerge l'hypothèse de la lourde charge cognitive (1982+)
- Période 2 : formulation initiale de la TCC, centrée sur la lourde charge cognitive (1988+)
- Période 3 : introduction du concept de charge cognitive inutile et « baptême » de la TCC (1990+)
- Période 4 : intégration du concept de charge intrinsèque et du modèle de l'architecture cognitive (1993+)
- Période 5 : intégration du concept de charge cognitive pertinente (1998+)
- Période 6 : l'interprétation évolutionniste de la TCC (2003+)
- Période 7 : reconceptualisation de la TCC autour de l'interactivité entre la CCI et la CCE (2010+)

Cette périodisation permet de mieux suivre le développement et l'évolution des cinq concepts de charge cognitive, en balisant chaque passage à une nouvelle période autour d'un changement conceptuel.

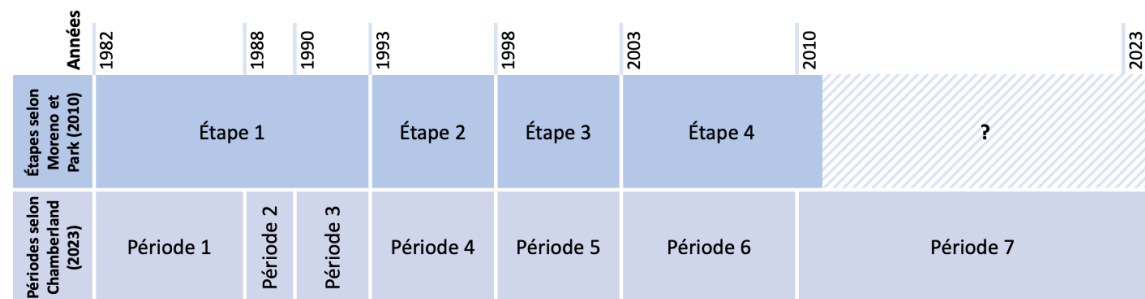
La figure suivante permet de voir chacune de ces périodes en relation avec les quatre étapes proposées par Moreno et Park (2010).

Figure 5.1 – Correspondance entre les étapes d'évolution de la TCC selon Moreno et Park (2010) et la nouvelle périodisation proposée



La figure 5.1 permet de voir à quelles étapes de Moreno et Park correspondent chacune des périodes de ma périodisation alternative pour baliser l'évolution de la TCC. L'espace horizontal du graphique n'est pas proportionnel au temps que durent chacune des étapes ou périodes. Il sert uniquement à situer quelles périodes correspondent à quelles étapes. La prochaine figure illustre la même relation, mais avec une échelle temporelle proportionnelle.

Figure 5.2 – Représentation temporelle proportionnelle de la durée respective des étapes de Moreno et Park et des nouvelles périodes proposées



La suite de ce chapitre décrivant l'analyse historique aborde d'abord le contexte scientifique dans lequel a émergé la TCC, pour ensuite présenter chacune de ces sept périodes de développement. Pour chaque période, je détaillerai l'émergence et l'évolution des cinq concepts de charge cognitive.

5.2. Le contexte scientifique dans lequel émerge la TCC

Les années 1960 et 1970 sont très fertiles pour la recherche en sciences cognitives. Plusieurs travaux importants permettent de découvrir des aspects du fonctionnement de la cognition humaine, notamment quant à l'apprentissage et aux distinctions cognitives entre les experts et les novices. Des études empiriques

mènent à des progrès théoriques majeurs qui font avancer, par exemple, la théorie des schémas (voir par exemple Chase & Simon, 1973), les modèles de la mémoire de travail (voir par exemple A. D. Baddeley & Hitch, 1974), la distinction entre traitements contrôlés et traitements automatisés (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977), les stratégies de résolution de problèmes (Newell & Simon, 1972), pour ne nommer que ceux-là. John Sweller débute sa carrière de chercheur dans cette période, au milieu des années 1970, et sa production scientifique prendra de l'ampleur à compter des années 1980 (Tricot, 1998; Sweller, 2016).

Anderson (1993) décrit les années 1980 comme un moment où la recherche sur la résolution de problèmes et la recherche sur l'apprentissage commencent enfin à se rejoindre. Tout comme Anderson, qui proposera sa propre théorie cognitive de l'apprentissage (ACT, puis ACT-R) (Anderson, Matessa, & Lebiere, 1997), Sweller oriente ses travaux de recherche à l'intersection de ces deux courants de recherche, en s'intéressant spécifiquement à l'apprentissage de la résolution de problèmes (Tricot, 1998).

Si la recherche sur la résolution de problème et celle sur l'apprentissage commencent alors à se rejoindre, la recherche sur la résolution de problèmes était déjà liée à la recherche sur l'expertise, puisque ces deux sujets sont intrinsèquement liés. En effet, l'expertise permet de résoudre des problèmes que les novices ne peuvent pas résoudre correctement, ou qu'ils peuvent parfois résoudre, mais en utilisant des stratégies moins efficaces et en commettant des erreurs. La recherche sur l'expertise des années 1960 et 1970 a mis en évidence de nombreuses caractéristiques distinguant les novices des experts. Ces découvertes ont pavé la voie à la recherche sur le développement de l'expertise.

Un courant important en éducation dans les années 1980 consistait à prôner l'enseignement de stratégies générales de résolution de problèmes (Sweller, 2016). Ce courant s'est trouvé en contradiction avec les recherches qui démontraient déjà que les experts recourent plutôt à des stratégies spécifiques, choisies en fonction du type de problème. Ces stratégies sont encodées dans la mémoire à long terme dans des structures cognitives nommées schémas (Sweller, 1993). La performance des experts a été expliquée principalement par le fait qu'ils disposent d'une grande quantité de schémas très élaborés et automatisés dans leur MLT. Ces schémas leur permettent de reconnaître automatiquement les caractéristiques des situations auxquelles ils font face dans leur domaine d'expertise, de les interpréter sans effort et de composer avec ces situations de

façon pertinente. L'expert n'a pas à générer une solution : face à un problème de son domaine d'expertise, les schémas pertinents à la situation s'activent depuis sa MLT et l'expert applique une solution connue avec des règles automatisées. Enseigner des stratégies générales de résolution de problèmes n'apporterait donc pas de contribution significative dans le cheminement vers l'expertise, puisque ce qui distingue les experts des novices est leur vaste répertoire de connaissances et de stratégies spécifiques. En effet, les recherches ont démontré que les experts ne sont pas meilleurs que les novices lorsqu'ils doivent utiliser des stratégies générales de résolution de problèmes dans les domaines qui ne font pas partie de leur champ d'expertise.

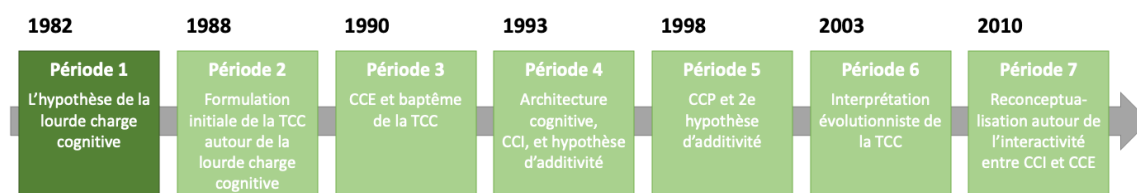
Le programme de recherche de John Sweller se concentre donc sur l'acquisition de schémas de résolution de problèmes, en opposition directe au courant prônant l'enseignement de stratégies générales (Sweller, 2016). Les schémas permettent :

- de reconnaître les caractéristiques structurelles d'un problème et ainsi de catégoriser adéquatement le problème (par exemple, trouver une longueur inconnue dans un triangle rectangle);
- d'activer des règles de résolution pertinentes pour cette catégorie de problèmes (par exemple, utiliser le théorème de pythagore);
- d'appliquer les règles connues afin d'arriver à la solution de façon efficace (par exemple, insérer correctement les données connues dans la formule et effectuer les calculs permettant de découvrir la valeur inconnue).

La recherche menant à la TCC part de cette intention de découvrir des moyens efficaces et efficaces d'acquérir des stratégies de résolution de problèmes spécifiques à chaque type de problème. En d'autres termes, d'amener les novices à construire des schémas par le biais de stratégies pédagogiques optimales pour le développement de leur expertise.

5.3. Période 1 : l'hypothèse de la lourde charge cognitive avant la formulation de la TCC (1982+)

Figure 5.3 – Période 1 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes



À compter de 1982, John Sweller publie une série d'articles, seul ou avec des collaborateurs, rapportant des résultats en apparence paradoxaux de nombreuses expériences sur l'apprentissage de la résolution de problèmes mathématiques, plus particulièrement des problèmes de transformation (Sweller & Levine, 1982; Sweller et al., 1982; Sweller, 1983; Sweller et al., 1983; Owen & Sweller, 1985; Sweller & Cooper, 1985; Cooper & Sweller, 1987). À travers chacun de ces articles et en s'appuyant sur des travaux antérieurs d'autres chercheurs, John Sweller commence à poser plusieurs des fondements de ce qui deviendra la TCC.

Dans cette série d'articles, Sweller démontre empiriquement que de faire résoudre des problèmes par des apprenants après leur avoir expliqué les opérations de base permettant de les résoudre est souvent un moyen peu efficace d'apprendre à résoudre des problèmes. Dans plusieurs catégories de problèmes, les apprenants qui réussissent à les résoudre semblent paradoxalement en tirer très peu d'apprentissages, car on observe que leur performance à résoudre d'autres problèmes du même type ne s'améliore pas ou sinon très peu. Il s'agit d'une découverte importante, car dans l'apprentissage des mathématiques, la résolution de problèmes était à l'époque une méthode pédagogique largement répandue, voire dominante.

Sweller propose qu'il puisse y avoir interférence entre l'activité de résolution de problème et l'acquisition des connaissances qui vont faciliter la résolution d'autres problèmes du même type. Même quand les apprenants trouvent la solution aux problèmes qu'on leur présente, on n'observe que peu ou pas de reconnaissance des caractéristiques structurelles du problème, ni d'induction des règles de résolution particulières à ce type de problèmes. Les apprenants abordent les problèmes suivants avec la même approche générale « naïve » que celle employée avec leurs premiers problèmes du même type. Pour développer

leur expertise, ils devraient plutôt acquérir des stratégies spécifiques à chaque type de problème. Sans quoi, ils doivent générer à chaque fois une solution par une stratégie générale moins efficace et moins efficace.

Sweller conclut que la stratégie générale de résolution de problèmes mise en œuvre par les novices, soit l'analyse moyens-fins, est relativement efficace et efficace pour trouver une solution à un problème donné en l'absence de schémas pour ces problèmes en MLT. En revanche, elle est très peu efficace et peu efficace pour en tirer les apprentissages qui développent l'expertise.

Il en vient à croire que c'est l'analyse moyens-fins elle-même qui interférerait avec ces apprentissages. Owen et Sweller proposent en 1985 une explication basée sur la charge cognitive. Ils postulent que l'analyse moyens-fins impose aux novices une charge cognitive si grande qu'il leur est difficile de d'élaborer des schémas lorsqu'ils emploient cette stratégie pour résoudre des problèmes. Cette lourde charge cognitive mobilise toutes leurs ressources cognitives disponibles pour réaliser l'analyse moyens-fins, n'en laissant plus pour les processus cognitifs directement liés à l'acquisition de schémas. Les ressources cognitives étant toutes consommées par l'analyse moyens-fins, les apprenants ne seraient plus en mesure de porter l'attention nécessaire aux informations et opérations qui doivent être intégrées dans des schémas spécifiques de résolution de problème.

Les connaissances qui distinguent les experts des novices demandent de reconnaître les états des problèmes et les opérations pertinentes aux transformations ces états. La recherche d'une solution bien identifiée – par exemple, trouver la valeur d'un angle spécifique dans un triangle à partir d'autres données connues – constitue un but à atteindre. L'analyse moyens-fins mène à mettre en œuvre des processus complexes de recherche et de comparaison entre l'état actuel du problème, le but à atteindre, et un ensemble de sous-buts qui les séparent. La démarche s'appuie sur la planification « à rebours » d'une série de sous-buts intermédiaires entre l'état actuel du problème et le but (« chaînage arrière »). Par opposition, les experts adoptent plutôt une approche cognitivement économique consistant à considérer uniquement l'état actuel du problème et à choisir et réaliser l'opération permettant de passer à un nouvel état problème (« chaînage vers l'avant »), sans recourir à une série de comparaisons entre l'état, les sous-buts et le but. La complexité inhérente à l'analyse moyens-fins entraîne la mobilisation de l'ensemble de la capacité de traitement cognitif, ses ressources étant dirigées en priorité sur les comparaisons de l'état actuel du

problème avec le but et les sous-buts. Par conséquent, il ne resterait alors plus de capacité de traitement disponible pour s'attarder aux états et aux opérations au-delà de ce qui est strictement requis pour réaliser l'analyse moyen-fins et cheminer vers la solution de ce problème spécifique. Une fois que les informations requises pour une comparaison état/sous-but/but ont été traitées, des ressources cognitives doivent rapidement être libérées pour permettre la prochaine comparaison.

Les travaux de Sweller et de ses collègues dans les années 1980 leur permettent de mettre en lumière deux méthodes d'enseignement permettant aux apprenants de mieux intégrer les informations caractérisant les schémas des experts : les problèmes sans buts spécifiés et l'étude de problèmes résolus. Ces deux méthodes empêchent l'apprenant d'adopter une stratégie d'analyse moyens-fins. Lorsque l'analyse moyens-fins est éliminée, on constate que l'apprentissage et le transfert à d'autres problèmes du même type augmentent considérablement.

5.3.1. L'efficacité et l'efficience d'une stratégie sont relatives à l'objectif poursuivi

Il est important ici de mentionner que l'on doit toujours considérer objectif final de la tâche pour juger de son efficacité et de son efficience. Si le but est la résolution du problème, les stratégies spécifiques à un type de problème, issues d'apprentissages antérieurs, sont toujours les plus efficaces et les plus efficaces.

En l'absence de stratégies spécifiques, l'analyse moyens-fins est très efficace et relativement efficiente pour *résoudre* les problèmes. Si toutefois l'objectif est *l'apprentissage* de la résolution de problèmes, alors l'analyse moyens-fins est peu efficace et inefficente.

Inversement, les problèmes sans but spécifié sont très efficaces et très efficaces pour *apprendre à résoudre* le même type de problèmes. Par contre, ils sont peu efficaces pour *résoudre* le problème, car ils entraînent une exploration plus large de l'espace problème et finissent par arriver à la solution attendue après davantage d'opérations.

5.3.2. Les concepts de charge cognitive dans la période 1

C'est durant cette période qu'apparaît pour la première fois le terme « charge cognitive » (« *cognitive load* ») dans les travaux de John Sweller.

La charge cognitive est alors presque toujours associée à un qualificatif indiquant qu'elle est lourde, le plus souvent sous la forme « lourde charge cognitive » (« *heavy cognitive load* ») (voir par exemple Owen & Sweller, 1985, p. 284; Cooper & Sweller, 1987, pp. 348, 358, 359). L'expression est utilisée pour caractériser les situations d'analyse moyens-fins qui seront plus tard décrites comme des situations où il y a à la fois charge cognitive inutile et surcharge cognitive. Elle est donc en quelque sorte l'origine de trois des concepts de CC : la charge cognitive, la charge cognitive inutile et la surcharge cognitive. Ceux-ci se différencieront progressivement en des construits distincts dans les prochaines périodes. Pour le moment, ils sont tous amalgamés dans le terme « lourde charge cognitive ».

Aucun autre concept de charge cognitive n'est formulé à ce stade.

5.3.2.1. La charge cognitive

Le terme « charge cognitive » est utilisé sans être défini, comme si les auteurs estimaient qu'il se suffit à lui-même, que son sens est évident et ne requiert donc aucune explication.

Bien que ce ne soit pas nommé explicitement, les explications des auteurs suggèrent qu'elle soit le reflet des opérations de traitement des informations (voir la sous-section 5.3.2.3 pour des extraits de texte le démontrant).

5.3.2.2. La surcharge cognitive

L'expression « *heavy cognitive load* » porte l'amorce de la notion de surcharge cognitive, mais l'idée n'est pas encore complète à ce stade-ci. Il n'est pas encore question d'un dépassement de capacité à proprement parler.

5.3.2.3. La lourde charge cognitive : une pression sur les capacités de traitement cognitif

Il est important de souligner à quel point les premières mentions de la charge cognitive sont associées aux capacités de *traitement* cognitif, car cet accent sur le traitement va progressivement disparaître à mesure qu'évolue la TCC pour une approche qui met davantage l'accent le nombre d'éléments en mémoire de travail.

Par exemple, Owen et Sweller mentionnent dans leur article de 1985 l'hypothèse que l'analyse moyens-fins « [...] *places a heavy load on cognitive **processing** capacity* [...] [accentuation ajoutée] » (Owen & Sweller, 1985, p. 272). Plus loin dans le même article, ils décrivent encore la CC en termes de charge de traitement :

« *The retardation of schema acquisition through the use of means-ends analysis may be attributed to the demands made by the strategy on **cognitive processing capacity**. [...] The **processing load** can be reduced by restructuring problems to eliminate means-ends analysis. Reducing goal specificity is one method of achieving this.* [accentuation ajoutée] » (Owen & Sweller, 1985, p. 278)

5.3.2.4. L'absence de définitions

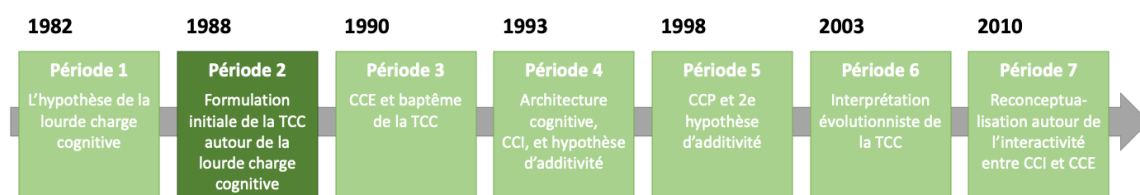
Les auteurs ne définissent pas ce qu'ils entendent par les expressions « *heavy cognitive load* », « *cognitive processing capacity* », « *processing load* » et les autres termes similaires. Ils ne décrivent pas non plus quelles sont les capacités de traitement cognitif auxquelles ils font référence.

On reconnaît ici une source d'erreurs conceptuelles que Machado et Silva (2007, p. 674) ont nommé le sophisme de la nomenclature : nommer n'est pas expliquer. Il est facile pour le lecteur d'accorder un certain sens à ces expressions qui réunissent des termes qui sont familiers dans le domaine. Par contre, en l'absence d'une définition, il est hasardeux de présumer que tous les lecteurs en feront la même interprétation.

À la défense des auteurs, il faut souligner que la TCC n'est pas encore formulée et qu'il n'est donc pas déraisonnable que leur première hypothèse liée à la charge cognitive soit imprécise dans cette phase initiale de leurs travaux.

5.4. Période 2 : la formulation de la TCC centrée sur la lourde charge cognitive (1988+)

Figure 5.4 – Période 2 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes



L'article fondateur de la TCC est publié en 1988 (Sweller, 1988), suivi par deux autres articles parus en 1989 dont un co-écrit avec Owen (Owen & Sweller, 1989; Sweller, 1989). Ces articles reprennent les mêmes idées que l'article de 1988, en les présentant de façon plus synthétique, tout en présentant tous les appuis empiriques à la TCC publiés jusqu'à maintenant. La théorie n'est cependant pas encore « baptisée ». Lorsque Sweller lui donnera son nom dans la prochaine période, en 1990, il référera à l'article de 1988 comme étant l'origine de la TCC (Sweller, 1990a; Sweller et al., 1990).

L'hypothèse de la charge cognitive pour expliquer les échecs d'apprentissage par la résolution de problème a été posée en 1985 (Owen & Sweller, 1985), mais ce n'est que dans l'article de 1988 que Sweller décide de la tester par des mesures qu'il estime plus directes. Son objectif avoué est de convaincre les chercheurs qui prônent l'apprentissage *de* la résolution de problèmes *par* la résolution de problèmes que cette approche fait fausse route, puisque la résolution de problèmes interfère avec l'apprentissage (Sweller, 1988, p. 257; 2016, p. 5).

Notons ici que l'ensemble de la TCC repose alors uniquement sur les effets de CC impliquant l'analyse moyens-fins.

Sweller (1988) pose la nouvelle hypothèse que les processus cognitifs de la résolution de problèmes et ceux de l'apprentissage sont distincts, et que de tenter d'apprendre en solutionnant des problèmes serait placerait possiblement l'apprenant en situation de double tâche. Dans cette double tâche, l'une des tâches consisterait en la résolution du problème, et l'autre tâche consisterait en l'acquisition de schémas. Mener deux tâches simultanément peut surcharger le système cognitif, particulièrement si l'une d'elles est très exigeante en capacité de

traitement¹⁶. Les exercices courants de résolution de problèmes imposeraient l'analyse moyens-fin comme tâche principale et ne laisseraient pas assez de capacité cognitive pour conduire adéquatement la tâche consistant en l'acquisition de schémas, qui devient alors la tâche secondaire dont la performance écope, malgré qu'elle devrait être l'objectif premier.

Au-delà de la question de capacité de traitement, Sweller considère que la double-tâche de l'apprentissage de la résolution de problèmes par la résolution de problèmes est également problématique en termes d'attention sélective. On peut difficilement porter attention simultanément à plusieurs tâches, et si la tâche de résolution de problème est bel et bien distincte de la tâche d'acquisition de schémas, l'attention portée à chacune s'en trouve diminuée. Cette nouvelle hypothèse est complémentaire à celle d'une charge cognitive élevée.

*« While selective attention and limited cognitive processing capacity mechanisms have been treated independently in the previous discussions, they are related. Indeed, for practical purposes, under some conditions it may not be useful to distinguish between the two processes. Assume a problem solver whose entire **cognitive processing capacity** is devoted to goal attainment. It was suggested in the previous section that this leaves no capacity to be devoted to schema acquisition. Rather than using cognitive processing capacity terms, we could just as easily describe these circumstances in attentional terms. A problem solver whose cognitive processing capacity is entirely devoted to goal attainment is attending to this aspect of the problem to the exclusion of those features of the problem necessary for schema acquisition [accentuation ajoutée]. » (Sweller, 1988, pp. 261-262)*

Remarquons que dans la précédente citation, la capacité cognitive est encore présentée en termes de capacité de traitement.

Sweller décrit l'analyse moyens-fins en détaillant l'ensemble des informations qui doivent être maintenues et traitées pour résoudre le problème. Il ne fait pas encore référence à des limites quantitatives des capacités de la MDT à ne pas dépasser, mais sa description de la grande quantité d'informations impliquées dans une analyse moyens-fins propose déjà trois volets de ce que peut être la charge cognitive.

¹⁶ Évidemment, si les deux tâches sont exigeantes, la surcharge n'en sera que pire.

« *In using this strategy, the solver must simultaneously consider the current problem state, the goal state, the relation between the current and goal states, and the relations between these* [accentuation du texte original] *relations and problem-solving operators. In addition, a stack of subgoals must be maintained. Even if the problem is solved, the problem-solver may be left with very little cognitive-processing capacity for schema acquisition. In effect, cognitive load imposed by the strategy may prevent problem solvers from attending to those aspects of a problem important in schema acquisition.* » (Owen & Sweller, 1989, pp. 324-325)

Les deux premières phrases de la citation précédente décrivent l'ampleur des informations à considérer, ce qui nous renvoie à l'*empan mnésique nécessaire* pour accomplir la tâche. La troisième phrase parle de *capacité de traitement cognitif*, ce qui nous renvoie à la capacité de réaliser des opérations mentales sur ces informations. La quatrième (dernière) phrase parle d'*attention sélective*, ce qui nous renvoie au fait qu'à tout moment nous considérons certaines informations disponibles et nous en ignorons d'autres. À ce stade de développement de la TCC, Sweller considère ces trois volets (empan requis, opérations à réaliser, attention sélective à orienter) comme étant des explications potentielles de la charge cognitive.

Sweller relève que les preuves précédentes de la relative forte charge cognitive de l'analyse moyens-fins étaient plutôt indirectes dans ses travaux antérieurs : ce sont divers indices de performance qui le laissaient croire, comme le nombre d'erreurs commises ou la rapidité à résoudre les problèmes. Son article de 1988 vise à combler cette lacune par le biais de deux expériences conçues pour tenter des mesures plus directes de la charge cognitive. Son objectif déclaré est de déterminer la charge cognitive relative de l'analyse moyens-fins, dite « à rebours » ou en « chaînage arrière » (« *working backward* ») parce qu'elle travaille à rebours à partir du but final, et de la résolution de problème dite « vers l'avant » ou en « chaînage avant » (« *working forward* »), comme dans les problèmes sans but spécifié, où l'on avance d'un état du problème à un autre sans comparer continuellement l'état du problème à un but à atteindre.

5.4.1. La première expérience de mesure de la CC

La première expérience de Sweller dans l'article de 1988 est un modèle informatisé comparant les opérations requises pour la résolution d'un même problème par analyse moyens-fins et par une approche sans but spécifié. À cette

époque, Sweller ne définit pas encore ce qu'est la CC. Pourtant, dans cette simulation informatisée, il mesure 5 paramètres qu'il estime être des mesures de charge cognitive : la mémoire de travail moyenne utilisée, la mémoire de travail maximale utilisée (« *peak working memory* »), le nombre de règles actives (les règles déclenchent des opérations sur l'état problème actuel lorsque leurs conditions de déclenchement sont remplies dans cet état problème), le nombre de cycles de déclenchement de règles, et le nombre de conditions réunies pour déclencher des règles.

Sur tous les paramètres, les mesures en analyse moyens-fins sont plus élevées. Cependant, la différence n'est pas toujours très grande entre les deux modes de résolution, comme l'indiquent les données du prochain tableau, tiré de l'article. Plus particulièrement, la mémoire de travail ne semble pas beaucoup plus sollicitée en analyse moyens-fins qu'en résolution sans but spécifié (MdT moyenne 15,5 vs 14, soit 10,7% de plus en analyse moyens-fins; MdT maximale 16 vs 14, soit 14,3% de plus en analyse moyens-fins). Même si à cette époque, Sweller ne définit pas encore la charge cognitive exclusivement en termes de MdT, il est intéressant de voir que dans ce modèle, les plus grandes différences quantitatives entre les deux modes de résolution sont au niveau des traitements : quatre fois plus de règles (*active productions*), 66,7% plus de cycles complétés et 70,6% plus de conditions remplies en analyse moyens-fins.

Tableau 5.1 – Données issues des simulations de John Sweller (Sweller, 1988, p. 272)

Simulation Data Under Conventional and NonSpecific Goal Conditions When Solving a 3-Step Equation Chaining Problem		
	Conventional	NonSpecific Goal
Average working memory	15.5	14
Peak working memory	16	14
Number of active productions	4	1
Number of cycles	5	3
Total number of conditions matched	29	17

Même si Sweller évoquait de façon éloquente la plus grande quantité d'informations à traiter en analyse moyens-fins dans la description citée plus haut (Owen & Sweller, 1989, pp. 324-325), les résultats de la simulation décrite dans l'article de 1988 indiquent que la quantité de données à traiter à tout moment ne semble

pas si importante comme indice de charge cognitive, du moins pas dans cette expérience. Les aspects les plus frappants dans ses résultats sont le nombre et la complexité des opérations requises pour l'analyse moyens-fins en comparaison d'une résolution de problème sans but spécifié. Selon Sweller (1988), la quantité de règles à appliquer est au cœur de la charge cognitive supérieure de l'analyse moyens-fins, mais il n'affirme pas que la charge cognitive se mesure directement en termes de nombre de règles.

En fait, Sweller propose d'abord une analyse *qualitative* de la complexité du système à quatre règles de l'analyse moyens-fins comme indice de la charge cognitive. La complexité supérieure de l'analyse moyens fins saute aux yeux lorsque l'on compare les ordinogrammes respectifs des deux approches (voir les deux prochaines figures, à compter de la page suivante).

Figure 5.5 – Ordigramme du modèle de résolution par analyse moyens-fins (Sweller, 1988, p. 269)

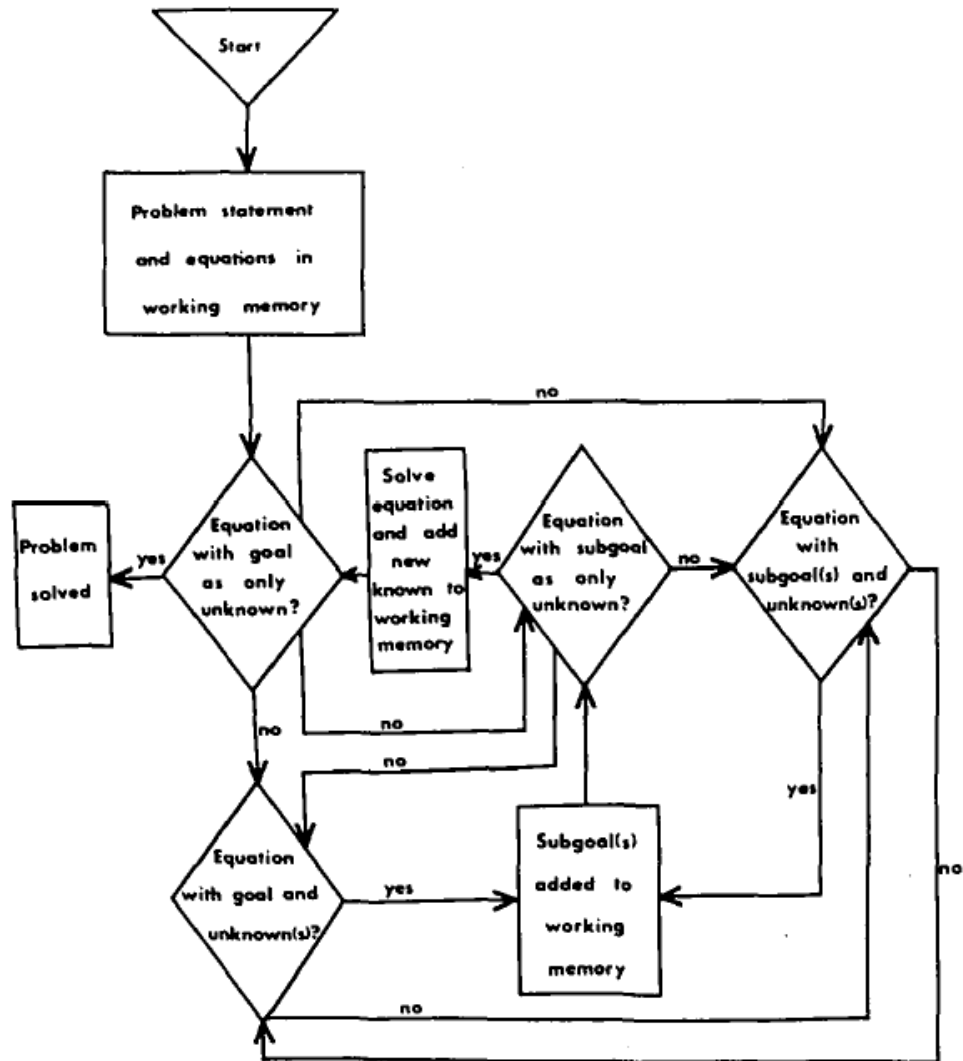


Figure 1. Flow of Control Under Means-Ends Production. (System halts either when the problem is solved or when no production can fire because no new subgoals can be generated and no equation can be solved.)

**Figure 5.6 – Ordinoigramme du modèle de résolution sans but spécifié.
(Sweller, 1988, p. 271)**

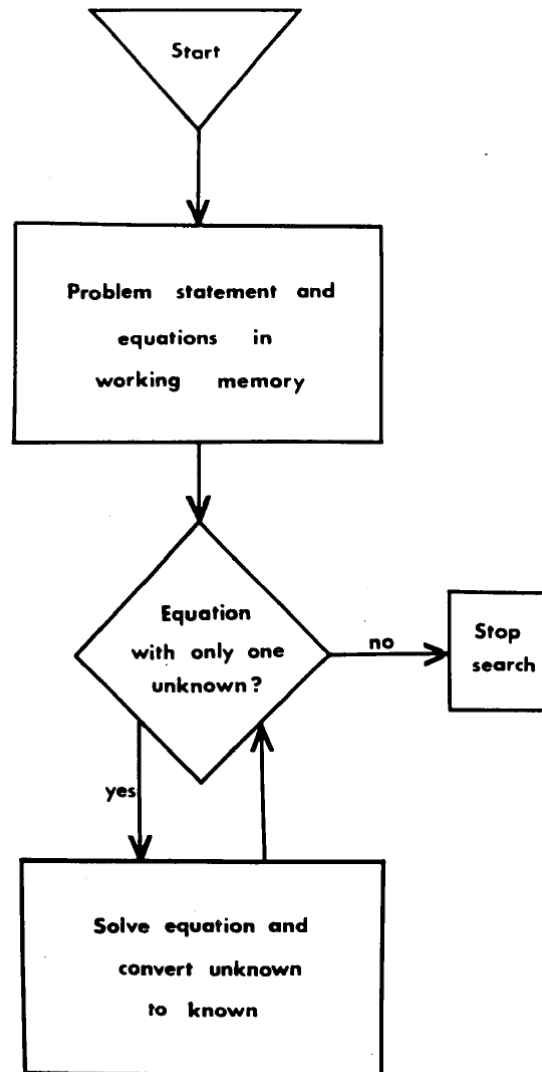


Figure 2. Flow of Control Under a NonSpecific Goal Production

5.4.2. La deuxième expérience de mesure de la CC

Après avoir vérifié par son expérience de simulation que la charge cognitive est supérieure en analyse moyens-fin qu'en résolution sans but spécifié, Sweller veut maintenant confirmer sa découverte par une deuxième expérience suivant le paradigme de double-tâche avec des sujets humains. Cette deuxième expérience apparaît également dans l'article de 1988.

Sweller aborde le concept de double tâche de deux façons dans cet article. L'une des façons, décrite dans une partie précédente du texte, est l'hypothèse selon laquelle résoudre un problème par analyse moyens-fins et acquérir des schémas sur ce type de problème constitue possiblement une double tâche qui peut surcharger l'apprenant. La deuxième façon, que nous expliquerons ici, est que la double tâche est une méthode expérimentale permettant d'évaluer la charge cognitive d'une tâche.

Sweller cite plusieurs recherches qui ont démontré que la performance à une tâche secondaire conduite simultanément à une tâche principale est un bon indicateur de la charge cognitive de la tâche principale : si la tâche principale est très exigeante, la performance à la tâche secondaire sera mauvaise. Si par contre la tâche secondaire peut être réalisée avec une bonne performance, on peut en conclure que la tâche principale ne consommait pas l'ensemble de la capacité de traitement cognitif.

Sweller conçoit une série de problèmes identiques pour lesquels un groupe devra tenter de les résoudre de façon traditionnelle et un autre groupe devra les résoudre avec une présentation sans but spécifié. La tâche secondaire est une tâche de mémorisation et de reproduction différée de certains aspects des problèmes présentés et des solutions découvertes. Cette tâche secondaire porte sur plusieurs informations pertinentes pour l'acquisition de schémas spécifiques au type de problème présenté.

Les deux groupes ont performé de façon équivalente sur la tâche principale de résolution de problème, mais le groupe travaillant au problème sans but spécifié a bien mieux performé sur la tâche secondaire, et particulièrement sur les aspects structurels des problèmes, qui sont essentiels pour la formation de schémas de résolution de problèmes spécifiques.

Sweller conclut de ses deux expériences que son hypothèse principale est validée : l'analyse moyens-fins est peu efficace pour l'apprentissage parce qu'elle impose une charge cognitive trop importante. On serait tenté d'ajouter : et ce, peu importe comment on définit la charge cognitive.

L'article de 1988 est fondateur car il est le tout premier à affirmer sans réserve que la charge cognitive explique la différence de performance entre les conditions d'analyse moyens-fin et de résolution sans but spécifié. L'hypothèse avancée en 1985 (Owen & Sweller, 1985) devient alors en quelque sorte un axiome sur lequel la nouvelle théorie repose. Cet article est également le premier où un

chercheur prétend mesurer directement la charge cognitive dans le cadre théorique de la TCC.

5.4.3. Les concepts de charge cognitive dans la période 2

À la deuxième période, la théorie est à ses balbutiements et seuls quelques-uns des concepts de CC sont proposés.

Certains des fondements qui serviront à expliquer plus tard la CC ne sont pas encore posés. L'architecture cognitive fondée sur les interactions entre la MLT et la MdT n'est pas encore présentée, ni les types de charge cognitive. Sweller ne met pas encore la MdT au centre des limites de capacité.

Par contre, les schémas sont déjà au cœur de la TCC. Leur rôle est cependant présenté dans le cadre limité de la résolution de problèmes, et plus particulièrement des problèmes de transformation. L'automatisation est mentionnée dans les articles de 1989, mais pas dans celui de 1988. À ce moment, Sweller ne parle pas d'automatisation des schémas, mais plutôt d'automatisation des règles (Sweller, 1989), comme le veut la littérature scientifique de l'époque ¹⁷.

5.4.3.1. La charge cognitive

Sweller ne propose toujours aucune définition de la charge cognitive dans les articles de 1988 et de 1989. Pourtant, il utilise couramment l'expression dans tous les articles. Dans l'article de 1988, il présente les cinq paramètres mesurés dans le modèle informatique comme autant de mesures de la CC, tout en stipulant que le nombre de règles et la complexité des traitements sont les aspects qui lui semblent les plus utiles à analyser. Dans l'article qu'il co-signe avec Owen en 1989, on mentionne au passage la charge sur la mémoire, en parlant d'un aspect particulier de la performance des experts, sans nécessairement faire l'équivalence avec la charge cognitive : « *When asked to memorize a problem state, an expert will use a schema to encode and unify the elements of that state. This process will **reduce memory load**.* [accentuation ajoutée] » (Owen & Sweller, 1989, p. 323). Il s'agit d'une référence implicite à la MdT.

¹⁷ Les règles de production et leur automatisation reposent sur des contributions théoriques importantes d'Anderson, intégrées à sa théorie ACT et plus tard ACT-R. Sweller ne mentionne ni ACT, ni ACT-R dans les articles analysés pour le présent mémoire. Dans les articles de 1989, il parle de règles et de leur automatisation sans citer ni Anderson ni d'autre auteur. Il cite Anderson dans son article de 1988 uniquement en appui à l'idée que l'analyse moyens-fins prévienne la formation de schémas.

Le fait qu'il multiplie les mesures et les descriptions d'éléments contributeurs à la charge cognitive donne l'impression qu'il est encore à la recherche de ce qu'est vraiment la charge cognitive.

Il est intéressant de constater qu'à cette étape du développement de la théorie, les indicateurs liés aux traitements cognitifs semblent les indicateurs de CC les plus importants pour Sweller, par opposition aux indicateurs liées à la rétention d'information. Pour le lecteur qui s'est familiarisé avec la TCC en lisant des textes parus dans les périodes plus récentes, cette place prépondérante accordée à la caractérisation du traitement des informations peut paraître étonnante, car elle a presque complètement disparu dans les textes récents de Sweller sur la TCC. Pourtant, dans les deux expériences de l'article de 1988, les résultats indiquaient une faible différence en quantité de données à traiter entre les conditions, alors qu'il rapportait une différence plus importante du côté des mesures liées au traitement des données, ce qui suggère que la quantité de données à traiter n'est peut-être pas un le meilleur indicateur de la différence de charge cognitive entre les conditions.

À l'opposé, la différence de complexité des ordinogrammes est frappante, et témoigne de façon éloquente que la complexité des traitements est un facteur important à considérer.

5.4.3.2. La surcharge cognitive

À cette nouvelle période, Sweller affirme toujours qu'une lourde charge cognitive (« *heavy cognitive load* ») entrave l'apprentissage. L'expression est mentionnée à de nombreuses reprises dans ses textes. Ce qui constitue une lourde charge n'est pas vraiment précisé. On se limite à décrire certaines conditions dans lesquelles la lourde CC peut émerger, à travers la description des effets de CC et l'explication de comment l'analyse moyens-fins est exigeante cognitivement.

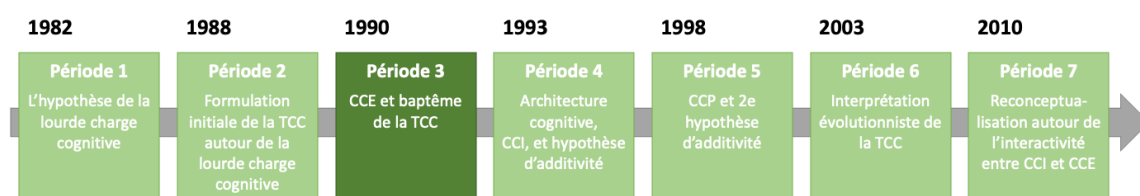
Bien que l'idée de surcharge cognitive soit implicitement très présente à travers l'expression « lourde charge cognitive » et la façon dont elle est expliquée, Sweller mentionne la surcharge cognitive en ces termes exacts pour la première fois dans l'article de 1988. Il utilise le mot « *overload* » dans deux phrases consécutives pour parler de l'effet de l'analyse moyens-fins et de ses conséquences observables. « *Problem solvers organizing a problem according to means-ends principles, suffer from a **cognitive overload** which leaves little capacity for other aspects of the task. This **overload** can be manifested by an increase in the*

number of mathematical errors made. [accentuations ajoutées] » (Sweller, 1988, p. 276).

La surcharge cognitive n'est pas mentionnée en ces termes dans les autres articles de cette période (Owen & Sweller, 1989; Sweller, 1989).

5.5. Période 3 : l'introduction du concept de charge cognitive inutile et le « baptême » de la TCC (1990+)

Figure 5.7 – Période 3 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes



À compter de 1990, Sweller, seul ou avec des collègues, commence à utiliser l'expression « *cognitive load theory* » (théorie de la charge cognitive, ou TCC) et il réfère à son article de 1988 comme celui marquant la « naissance » de cette théorie (Sweller, 1990a; Sweller et al., 1990; Chandler & Sweller, 1991; Sweller & Chandler, 1991). Bref, Sweller baptise la TCC en 1990, mais en situe la naissance en 1988.

Dès cette période, la théorie se voit déjà critiquée par d'autres chercheurs (Lawson, 1990; Dixon, 1991; Goldman, 1991) et Sweller la défend vigoureusement dans des articles répondant aux critiques (Sweller, 1990b; Sweller & Chandler, 1991).

Outre le « baptême » de la théorie, l'expression *extraneous cognitive load* (charge cognitive inutile ou CCE) fait également son apparition (Sweller, 1990a; Sweller et al., 1990; Chandler & Sweller, 1991; Sweller & Chandler, 1991). La CCE sera définie formellement, et on commence aussi à mieux circonscrire d'autres concepts dont les contours étaient encore flous auparavant. Il y a une première évocation très générale de l'idée de charge cognitive intrinsèque (Chandler & Sweller, 1991), mais cette idée n'est pas encore conceptualisée comme un construit distinct.

De nouvelles prédictions issues de la théorie vont mener à la découverte de deux nouveaux effets de charge cognitive : l'effet d'attention partagée (Sweller, 1990a; Sweller et al., 1990; Chandler & Sweller, 1991; Sweller & Chandler, 1991) et l'effet de redondance (Chandler & Sweller, 1991; Sweller & Chandler, 1991).

Sweller et ses collègues travaillant avec lui sur la TCC réalisent des expériences variées sur les effets pour mieux comprendre leur portée, leur applicabilité.

Dans plusieurs articles, on rapporte les résultats de nombreuses expériences appliquant les effets du problème résolu, d'attention partagée, et de redondance séparément ou combinés, dans des conditions variées, dans des domaines et contextes multiples, permettant ainsi de tirer des conclusions générales plus robustes (Sweller et al., 1990; Chandler & Sweller, 1991, 1992).

Le concept même de charge cognitive n'est toujours pas défini formellement. Il est question de traitements, d'allocation de ressources cognitives, mais la nature de ces ressources n'est pas vraiment précisée. Les descriptions de ce qu'est la CC demeurent des généralités. Voici un exemple du genre de généralités que l'on peut lire dans les articles de cette période : « *This theory is concerned with how cognitive resources are distributed during learning and problem solving.* » (Sweller et al., 1990, p. 176)

L'hypothèse qu'une forte charge cognitive (« *heavy cognitive load* ») explique l'échec d'apprentissage dans les effets découverts est encore présentée de pair avec l'hypothèse de mauvais focus attentionnel.

« *Schema acquisition requires **attention directed to problem states and their associated moves; other cognitive activities must remain limited and peripheral so as not to impose a heavy cognitive load that interferes with learning** [...] Encouraging or requiring learners to engage in means-ends search or to integrate multiple sources of information **misdirects attention and imposes a heavy cognitive load** [...] [accentuations ajoutées]* ». (Sweller et al., 1990, p. 178)

On remarque aussi dans la dernière citation que ce sont encore les autres *activités cognitives* que celles conduisant à l'acquisition de schémas qui sont vues comme 1) susceptibles de conduire à une trop forte charge cognitive, au point d'entraver l'apprentissage et 2) de nature à diriger l'attention sur les mauvais aspects du problème pour en tirer les apprentissages attendus. Les *traitements cognitifs* réalisés par les apprenants sont donc encore considérés comme sous-jacents aux deux mécanismes expliquant la faible performance (charge cognitive et mauvais focus attentionnel).

Sweller associe la CC à ce qu'il appelle les caractéristiques structurelles d'une tâche à réaliser par les apprenants ¹⁸.

¹⁸ Remarquons que les caractéristiques structurelles d'une tâche, évoquées ici pour la première fois, ne sont pas la même chose que les caractéristiques structurelles d'un problème, évoquées précédemment. Les premières sont relatives à la manière dont est conçue l'activité d'apprentissage, alors que les

« *The theory [...] suggests that the cognitive effort required to carry out a task is determined by its structural features. Many structural features are not essential but are a function of the way a task is presented. It is these irrelevant task structures, rather than essential goals, that frequently determine the manner in which our cognitive resources are distributed. As a consequence, some of the cognitive activities that we require people to engage in, while learning and problem solving, impose a heavy cognitive load and, indeed, may be mutually incompatible.* » (Sweller, 1990a, p. 127)

Bref, la façon dont une tâche est conçue peut induire une mauvaise allocation de ressources cognitives du point de vue de l'apprentissage. La TCC propose donc des façons de s'assurer que les ressources cognitives – dont la nature n'est pas encore précisée – soient dirigées vers des activités qui favorisent les apprentissages souhaités.

Outre les effets déjà découverts (non-spécification du but et problème résolu) sur lesquels la recherche se poursuit, deux nouveaux effets de CCE s'ajoutent pendant cette phase : l'effet d'attention partagée et l'effet de redondance.

5.5.1. Les concepts de CC à la période 3

5.5.1.1. La charge cognitive

La charge cognitive « tout court » n'est toujours pas définie dans cette période.

5.5.1.2. La surcharge cognitive

Dans cette période, on ne mentionne pas directement la surcharge cognitive. La « lourde charge cognitive » demeure l'expression qui en est la plus proche. La surcharge cognitive est plutôt une idée implicite.

5.5.1.3. La charge cognitive inutile

C'est dans la période 3 qu'apparaît le concept de charge cognitive inutile. L'expression « *extraneous cognitive load* » émerge de l'expression « *heavy cognitive load* » utilisée dans les périodes précédentes. La citation suivante illustre bien ce passage entre l'idée de lourde charge et l'idée de charge inutile.

secondes réfèrent aux aspects d'un problème ou d'une situation qui permettent de l'associer à un schéma. Cette utilisation d'un vocabulaire similaire pour désigner deux concepts différents tout en étant interreliés peut susciter une certaine confusion.

« *Activities such as means-ends search or mentally integrating disparate sources of information **impose a heavy, extraneous cognitive load** that interferes with schema acquisition because **these activities do not emphasise problem states and their associated moves**.* [accentuations ajoutées] » (Sweller, 1990a, p. 129)

La première partie de la citation indique que Sweller précise qu'au-delà d'être lourde, la CC imposée par l'analyse moyens-fins est inutile pour l'apprentissage. La « lourdeur » de la CC imposée par l'analyse moyens-fins n'est plus l'unique explication des effets de CC : son caractère inutile joue également un rôle dans les effets. La deuxième partie de la citation ramène l'idée présentée dans la période précédente qu'il y a un lien entre la « lourde charge cognitive inutile » et le focus attentionnel sur les aspects qui ne contribuent pas à l'acquisition de schémas. Ce qui se précise dans la période 3, c'est que caractère inutile de la CCE semble reposer sur le focus attentionnel sur des éléments peu contributifs à l'élaboration des schémas.

Pour la première fois avec la CCE, Sweller présente une définition formelle d'un des cinq concepts de la CC : « *An extraneous cognitive load is defined as any **cognitive activity** that is engaged in because of the way the task is organized and presented rather than because it is essential to attaining relevant goals.* [accentuation ajoutée] » (Sweller et al., 1990, p. 176). Remarquons que, en continuité avec les périodes précédentes, la charge cognitive inutile est toujours décrite en termes d'*activités cognitives* et non en termes d'éléments en mémoire de travail.

5.5.1.4. La charge cognitive intrinsèque

La CCI n'est pas encore formulée comme construit, mais Sweller en évoque pour la première fois l'idée générale, dans une réponse à une critique de Dixon (1991). Entre autres critiques de la TCC, Dixon indiquait – en s'appuyant sur quelques exemples – qu'une hausse de charge cognitive n'entravait pas toujours l'apprentissage, mais pouvait au contraire rehausser l'apprentissage.

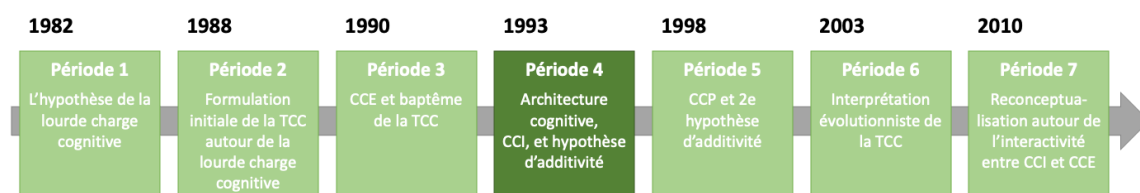
[...] *Dixon gives examples where learning additional material has improved performance despite an increase in load. Such findings are common and have no consequences for cognitive load theory. As indicated before, we are not attempting to prove that the less students learn (thus reducing cognitive load), the better performance will be. The only question is whether the load is imposed solely because of*

*the way the material is presented or because of the activities students must engage in, **rather than because of the intrinsic nature of the information**. In other words, is the cognitive load extraneous? [accentuation ajoutée] » (Sweller & Chandler, 1991, p. 359)*

Cet article est le premier dans lequel Sweller utilise le qualificatif « *intrinsic* » pour parler d'une charge cognitive qui soit liée positivement à l'apprentissage, avec une distinction explicite de la CCE. Dans cette même citation, on trouve également l'une des premières expressions de l'idée que l'objet de la TCC n'est pas de réduire *toute* charge cognitive, mais bien de minimiser la CCE.

5.6. Période 4 : l'intégration du concept de charge intrinsèque et du modèle de l'architecture cognitive à la TCC (1993+)

Figure 5.8 – Période 4 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes



Après un peu plus d'une dizaine d'années passées en émergence, la TCC prend en 1993 une forme qu'on peut lui reconnaître encore aujourd'hui. Sweller publie trois articles (Sweller, 1993, 1994; Sweller & Chandler, 1994) où il décrit une nouvelle version de la TCC incluant l'ensemble des concepts fondamentaux de charge cognitive qui sont encore au cœur de la théorie aujourd'hui. Il y présente pour la première fois le modèle de l'architecture cognitive sur lequel s'appuie toujours la TCC.

Cette architecture cognitive humaine est composée de la mémoire de travail (MdT) et de la mémoire à long terme (MLT). C'est par cette architecture que Sweller positionne le rôle central de la mémoire de travail dans la TCC. Sweller (1994) affirme que la capacité de traitement cognitif limitée de la MdT, à environ 5 éléments, est parmi les aspects les plus largement reconnus de cette architecture, et que ces limites seraient les plus importantes à considérer dans la conception des matériels et tâches d'apprentissage.

L'introduction de l'architecture cognitive dans la TCC permet d'expliquer que l'apprentissage soit favorisé par des tâches mettant l'accent sur les changements attendus en MLT, tout en évitant de mettre une trop forte pression sur la MdT à cause de ses limites de capacité.

Cette architecture permet de mieux expliquer les impacts négatifs de l'analyse moyens-fins sur l'apprentissage : elle est un processus centré sur de lourds traitements en MdT tout en ne mettant que peu d'emphase sur ce qui doit changer en MLT pour réaliser les apprentissages voulus. L'analyse moyens-fins entraîne une forte sollicitation de la MdT pour résoudre un problème lorsqu'il n'y a pas de schémas spécifiques en MLT pour ce type de problème. Il s'ensuit qu'un rôle essentiel de la MdT est de permettre la recherche d'une solution pour les problèmes pour lesquels nous n'avons pas déjà de schémas de solution.

À l'inverse, on peut aussi dire que les schémas en MLT sont une façon de compenser les limites de capacité de la MdT. Lorsque nous possédons des schémas appropriés aux problèmes auxquels nous faisons face, la MdT est peu sollicitée.

Ces liens de complémentarité entre MdT et MLT amènent Sweller à réfléchir à l'évolution du système cognitif, une dizaine d'années avant de proposer l'approche évolutionniste de la TCC.

*« It can be argued that schema acquisition and automation of cognitive functions are essential concomitants of our limited processing capacity but effectively unlimited long-term memory. If an appropriate schema is available, the information received when seeing a tree, a written word, or a familiar algebraic equation can be processed as a single entity rather than as a large number of constituent parts. The sole reason it is advantageous to process information in this manner is because of limited processing capacity. **The ability to acquire schemata may have developed precisely because of this cognitive architecture.** Schemata, stored in huge numbers in long-term memory, permit people to neutralise the deficiencies of short-term memory. [accentuation ajoutée] » (Sweller, 1993, p. 5)*

En lien avec cette perspective évolutionniste, Sweller présente une conception des schémas qui va plus loin que celle présentée dans les périodes précédentes, qui était centrée sur les opérations applicables à des états-problèmes. Les schémas sont dorénavant au cœur de tout apprentissage dans la TCC, pas seulement les apprentissages liés à des problèmes de transformation. L'apprentissage s'effectue par l'élaboration de schémas ou par leur automatisation. C'est aussi lors de cette période qu'il parle pour la première fois du caractère hiérarchique des schémas. De plus, sa vision de l'automatisation cognitive prend à cette période sa forme définitive : il cesse de parler d'automatisation des règles (procédurales) pour parler plutôt d'automatisation des schémas. Après ces deux changements majeurs, sa conception des schémas demeurera stable.

Sweller décrit maintenant la complexité d'une tâche d'apprentissage en fonction de sa charge cognitive intrinsèque (CCI), soit la complexité propre aux apprentissages à réaliser.

Des trois types de CC, seule la charge cognitive pertinente (CCP) n'a pas encore été introduite dans la TCC. Cependant, comme Sweller redéfinira la CCP

quelques années après son introduction comme la dimension d'effort mental de la CCI – et, par le fait même, n'étant donc plus une source de CC ¹⁹ – (Sweller, 2010b), on peut considérer que les types fondamentaux de CC sont maintenant tous énoncés.

L'effet fondamental de la CCI est proposé, soit l'effet d'interactivité entre les éléments : en l'absence d'un grand nombre d'éléments interactifs de CCI, on produit plus rarement des effets de CCE puisque les exigences de la tâche ne dépassent pas la capacité de la MdT.

C'est une période où la recherche sur la TCC s'étend au-delà des collègues australiens de Sweller, tels que Chandler, Cooper, Olsen, ou Ayres (Sweller, 2016). Le groupe des chercheurs qui publient régulièrement dans le cadre théorique de la TCC s'élargit et prend une dimension internationale, notamment avec les chercheurs néerlandais Jeroen van Merriënboer et Fred Paas, dont les travaux sur la TCC mèneront à des collaborations avec Sweller, incluant la rédaction avec Sweller de l'article qui marquera le début de la période suivante.

Un nouvel effet de CCE est proposé : l'effet du problème à compléter, qui permet une transition progressive entre l'étude de problèmes résolus et la résolution de problèmes complets. Cet enchaînement mènera ultérieurement à définir un effet de disparition progressive du guidage, qui décrit une stratégie consistant à proposer d'abord des problèmes résolus, suivis de problèmes à compléter laissant de plus en plus d'étapes à réaliser à l'apprenant, pour aboutir à la résolution de problèmes complets.

5.6.1. Les concepts de CC à la période 4

Il n'y a pas vraiment de changements explicites dans les définitions des concepts qui étaient déjà formulés, ni de définition pour ceux qui n'en avaient pas. Les changements majeurs à la TCC concernent l'architecture cognitive et l'introduction de la CCI avec sa propre définition.

Cependant, Sweller situe maintenant explicitement les charges cognitives inutile et intrinsèque dans la mémoire de travail et positionne pour la première fois l'importance de la limite de 3 à 5 éléments simultanés en MdT (qu'il révisera à la baisse ultérieurement, parlant d'une limite 2 à 4 éléments à compter des années

¹⁹ Voir la section 5.7 – décrivant la période suivante – pour l'explication de la dimension d'effort mental de la CC. C'est dans cette période que les concepts de charge mentale et d'effort mental sont introduits dans la TCC.

2000). On peut donc maintenant affirmer que la TCC propose implicitement que la charge cognitive est l'utilisation des ressources de MdT.

5.6.1.1. La charge cognitive

Encore à cette phase, Sweller ne fournit pas de définition de la charge cognitive. Il répète essentiellement les mêmes explications autour du fait que les tâches qui génèrent une charge cognitive inutile entraînent une forte charge cognitive, qui risque d'entraver les apprentissages recherchés. Comme expliqué au paragraphe précédent, on peut déduire que si la CCI et la CCE sont déterminées par les ressources de MdT qu'elles consomment, et que celles-ci sont additives, alors la CC est l'ensemble des ressources consommées en MdT. Cela n'est jamais écrit en toutes lettres dans les articles signés par Sweller.

En fait, Sweller évite soigneusement de limiter la charge cognitive à la seule somme de la CCI et de la CCE. Il utilise des formulations qui laissent une place à d'éventuelles autres sources de charge cognitive. Par exemple : « *I would like to suggest that total cognitive load is **an amalgam of at least two quite separate factors**: extraneous cognitive load [...] and intrinsic cognitive load[...]* [accentuation ajoutée] » (Sweller, 1994, p. 307).

5.6.1.2. La surcharge cognitive

L'expression « surcharge cognitive » n'est pas utilisée dans les articles de cette période. Cependant, on peut ici aussi déduire qu'il y a surcharge lorsque la demande en ressources de MdT d'une tâche dépasse les ressources disponibles.

Le concept de CCI et l'effet d'interactivité entre éléments permettent d'expliquer que la CCE n'a pas d'impact significatif sur l'apprentissage lorsque la CCI d'une tâche est faible. Ce constat devrait logiquement mener Sweller à pointer vers la surcharge cognitive comme source des entraves à l'apprentissage, et non vers la CCE. Sweller poursuit néanmoins son orientation selon laquelle c'est la CCE qui est la source de ces entraves.

On remarque que l'expression « lourde charge cognitive » se détache des idées de surcharge et de CCE, comme le montre la citation suivante.

« *With respect to the procedures already discovered, should cognitive load theory and the techniques described above be applied to the design of all learning and problem solving materials? Almost certainly not. **If the materials themselves do not impose a heavy cognitive***

load, the extraneous cognitive load imposed by instructional techniques may not be important because the total cognitive load may not exceed the processing capacity of the individual. [accentuation ajoutée] » (Sweller, 1994, p. 303)

La portion accentuée de la citation évoque la possibilité que la CCI puisse imposer en elle-même une lourde charge cognitive. Il est donc maintenant admis que la CCI peut à elle seule apporter une lourde charge cognitive, sans nécessairement passer en surcharge. C'est lorsque s'ajoute une CCE à une forte CCI que la surcharge devient d'autant plus probable. Bref, la « lourde charge cognitive » est maintenant une expression pouvant s'appliquer à tous les types de CC, tout comme à la CC globale, sans présumer qu'elle désigne une surcharge.

5.6.1.3. La charge cognitive inutile

La CCE ne se voit pas redéfinie formellement, mais on comprend qu'elle est constituée de la partie de la demande en ressources de MdT qui ne contribue pas aux apprentissages.

Sweller dit que la CCE est « par définition » modifiable par les procédures d'enseignement, au contraire de la CCI qui n'est pas modifiable par les procédures d'enseignement. L'affirmation est quelque peu ironique compte tenu qu'il ne fournit pas de définition!

5.6.1.4. La charge cognitive intrinsèque

Le concept de charge cognitive intrinsèque est introduit dans la TCC dans cette période. C'est même le principal changement à la TCC qui entraîne la définition d'une nouvelle période.

Comme pour les concepts précédents, la CCI est expliquée plutôt que définie.

En présentant la CCI, Sweller énonce également ses implications pour l'enseignement :

- la première hypothèse d'additivité (Moreno & Park, 2010) de la CCI et de la CCE (Sweller, 1993, 1994; Sweller & Chandler, 1994);
- l'effet d'interactivité entre les éléments;
- la distinction entre la difficulté d'un apprentissage et sa complexité (Sweller, 1994);

- et la compréhension définie comme le traitement simultané de tous les éléments interactifs d'une notion.

L'interactivité entre les éléments est proposée par Sweller (Sweller, 1993) à partir de deux articles co-rédigés par Halford, Mayberry et Bain en 1986 (Graeme S Halford, Mayberry, & Bain, 1986; Mayberry, Bain, & Halford, 1986, cités dans Sweller, 1993, p. 6), où ces auteurs décrivent des limites à la capacité de traitement d'information qui ont des interactions complexes entre elles.

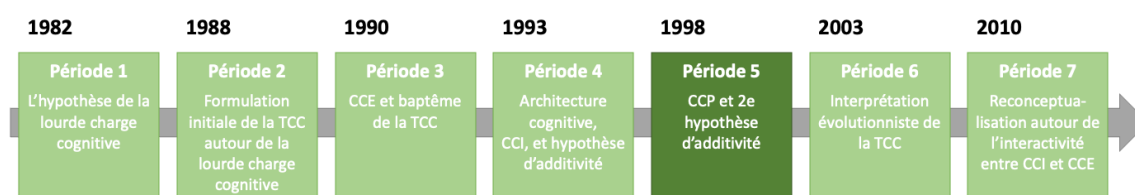
Sweller présente la CCI comme une fonction directe de l'*information* à apprendre. « *Intrinsic cognitive load is imposed by the basic characteristics of the information rather than by instructional design. It does not vary with restructuring.* » (Sweller, 1993, p. 6) C'est l'interactivité entre les éléments à apprendre qui détermine la CCI : si des éléments ne sont pas interactifs, ils peuvent être appris séparément les uns des autres et sollicitent donc très peu la MdT.

Selon Sweller, la CCI ne peut pas être modifiée par la conception pédagogique, puisqu'elle est déterminée uniquement par l'information à apprendre. « *Intrinsic cognitive load is fixed and cannot be reduced.* » (Sweller, 1994, p. 308) « *Total cognitive load can be reduced only by reducing extraneous cognitive load because intrinsic cognitive load is fixed by the extent of element interactivity.* » (Sweller, 1993, p. 7)

Sweller se garde une certaine réserve dans sa description de la CCI. Il ne prétend pas en avoir caractérisé tous les mécanismes, mais plutôt le principal mécanisme à l'origine de la CCI. « [...] *intrinsic cognitive load is determined largely by element interactivity.* [accentuation ajoutée] » (Sweller, 1994, p. 307)

5.7. Période 5 : l'intégration de la charge cognitive pertinente à la TCC (1998+)

Figure 5.9 – Période 5 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes



C'est une période où la recherche sur la TCC continue son expansion à l'international. L'arrivée du concept de CCP en est un bon exemple. Cette contribution théorique est issue d'un groupe de chercheurs néerlandais qui deviendront des collaborateurs réguliers de Sweller et intégreront le noyau des chercheurs principaux de la TCC : Paas, van Merriënboer et De Croock initialement, rejoints plus tard par d'autres tels que Kirshner. Le même groupe de chercheurs intègre à ses protocoles expérimentaux des mesures directes de la charge cognitive, ce qui permet de répondre aux critiques qui affirment que sans mesure de charge cognitive, l'explication des effets de la TCC par les concepts de CC et de CCE n'est pas véritablement validée par les résultats expérimentaux. En France, André Tricot (1998) publie un article qui explique la TCC au public francophone.

C'est en 1998 avec l'article *Cognitive Architecture and Instructional Design* (Sweller et al., 1998) que Sweller présente une nouvelle version de la TCC dans laquelle il officialise l'introduction du concept de charge cognitive pertinente (CCP) dans la TCC. Cet article est d'ailleurs co-rédigé avec ses nouveaux collaborateurs néerlandais van Merriënboer et Paas.

Deux principales découvertes changent la TCC : l'effet de variabilité des exemples et l'effet de modalité. L'effet de variabilité des exemples justifie le concept de CCP et l'effet de modalité établit une nouvelle catégorie d'effets : les effets qui permettent une de tirer parti de caractéristiques de la MdT pour en « augmenter virtuellement la capacité ».

L'effet du problème à compléter, découvert aussi par les chercheurs néerlandais, évoqué discrètement dans les articles théoriques de la période précédente, est maintenant « sanctionné » comme faisant partie de la TCC et décrit dans l'article.

Une autre nouveauté qui découle des mesures de CC lors des expériences sur les effets de CC est qu'elles permettent des mesures d'efficience. Paas et van Merriënboer développent une méthode de calcul de l'efficience, qui est reprise dans l'article de 1998.

Dans cet article, Sweller, van Merriënboer et Paas présentent une formulation complète de la TCC telle qu'ils la conçoivent à ce moment, incluant tous les éléments déjà connus ainsi que de nouveaux éléments issus de développements empiriques et théoriques récents. Plusieurs des concepts et effets décrits sont les mêmes que dans la période précédente, mais les auteurs ajoutent quelques précisions pour certaines des notions.

L'architecture cognitive est complète depuis la phase précédente. Cependant, Sweller et ses co-auteurs renchérissent sur le fait que, compte tenu des limites de capacité de la MdT et du rôle des schémas dans la performance des experts, la MLT est le véritable socle des habiletés intellectuelles de haut niveau acquises plutôt qu'innées. Les auteurs clarifient aussi que la TCC est centrée sur les limites de la MdT. Les rôles respectifs de la MdT et de la MLT sont des facteurs essentiels pour la conception pédagogique. On n'introduit pas de nouvelles structures. On justifie aussi l'omission de certaines structures bien connues dans l'architecture cognitive, tels que les registres sensoriels, par leur impact présumé nul sur la conception pédagogique : seules les structures ayant un impact sur la conception pédagogiques sont présentées. Par contre, la TCC précise son modèle de la mémoire de travail en adoptant celui d'Alan Baddeley (1992) à composantes multiples : un exécutif central qui coordonne deux sous-processus, l'un visuel et l'autre verbal. Ce modèle permet d'expliquer l'effet de modalité.

La charge cognitive totale d'une tâche est maintenant une fonction de ce que Moreno et Park (2010) appellent la deuxième hypothèse d'additivité : la somme de la CCI, de la CCE et de la CCP. Dans une conception pédagogique optimale, la charge cognitive totale apportée par la somme de chacun des types de charge doit toujours se situer dans les limites de la capacité de MDT, sinon l'apprentissage sera entravé.

Il faut cependant noter que la charge cognitive commence à être abordée plus formellement comme un phénomène qui varie au cours de la réalisation de la tâche. L'article fondateur de la TCC en 1988 en faisait mention dans le modèle informatisé, mentionnant des mesures distinctes d'utilisation moyenne de MdT et de pic d'utilisation de MdT, mais on n'avait plus mentionné cette réalité depuis

la période 2. Sweller cite maintenant des travaux de Ayres (1993, cité dans Sweller et al., 1998, p. 273) indiquant que dans une analyse moyens-fins, la charge serait plus élevée pendant le travail sur les sous-buts que lors du travail sur le but, car plus d'éléments doivent être considérés aux étapes de sous-buts.

La CCP est un des changements majeurs de cette phase de développement de la TCC. Là où la TCC considérait auparavant que le design pédagogique était au mieux neutre, au pire une source de CCE, le concept de CCP permet de rendre compte de changements dans le design pédagogique qui sont positifs pour l'apprentissage. La CCP est un type de charge cognitive causé par un design pédagogique qui fait augmenter les traitements réputés mener à l'élaboration des schémas en MLT. Sweller parle de rediriger l'attention des apprenants sur les processus pertinents à la construction des schémas. Comme pour la CCE, la CCP serait donc au moins en partie le résultat d'une conception pédagogique qui oriente le focus attentionnel sur certains éléments plutôt que d'autres.

Si le rôle de la formation des schémas a fait l'objet d'une attention particulière dans les phases précédentes, à cette nouvelle phase, Sweller accorde une plus grande place au rôle de l'automatisation. Citant des travaux réalisés par d'autres chercheurs, il indique à quel point l'automatisation joue un rôle capital pour faciliter la résolution de problèmes. Il propose même que l'apprentissage par la résolution de problèmes en analyse moyens-fins s'explique peut-être par le fait que les apprenants automatisent progressivement certains actes, dégageant ainsi de la capacité de MdT pour traiter d'autres aspects du problème au fil des répétitions (Sweller et al., 1998, p. 257). En effet, si l'apprentissage par la résolution de problème est peu efficient, il n'est pas complètement inefficace, et il est intéressant de voir Sweller en proposer une explication.

Les activités automatisées sont complétées sans effort, sans demande de ressources de mémoire de travail, et laissent donc place à d'autres traitements contrôlés pour des aspect nouveaux d'une tâche à réaliser. Sans automatisation, il est possible de compléter une tâche pour laquelle nous avons les schémas prérequis, mais ce sera au prix d'efforts importants et peut-être avec une performance médiocre. Sans l'automatisation de certaines activités mentales, certaines tâches pourraient ne pas être réalisables pour cause de surcharge même avec les schémas permettant d'en comprendre tous les éléments.

5.7.1. Les concepts de CC à la période 5

Cette période marque l'arrivée du dernier type de charge cognitive, la CCP, mais aussi d'une évolution dans certains des autres concepts de CC. Comme dans les périodes précédentes, les concepts de charge cognitive sont pour la plupart expliqués sans être définis, à l'exception notable de la charge cognitive.

5.7.1.1. La charge cognitive

Sweller et ses collègues fournissent pour la première fois une définition directe de la charge cognitive : « *Cognitive load is generally considered a construct representing the load that performing a particular task imposes on the cognitive system.* » (Sweller et al., 1998, p. 266)

Bien que Sweller donne pour la première fois une définition de la CC, 10 ans après qu'il ait fondé la TCC, celle-ci n'est pas très opérationnelle et laisse plusieurs questions en suspens. Par exemple : Qu'est-ce que la charge? Quelles parties du système cognitif sont concernées? Quels sont les mécanismes de la charge cognitive? Sans de telles précisions, la définition devient circulaire, car elle ne va pas beaucoup plus loin que de simplement répéter à peu près dans les mêmes mots l'expression « charge cognitive » sans apporter d'éclairage suffisant sur le sens à lui donner. On reconnaît dans cette définition deux des sources de problèmes conceptuels identifiées par Machado et Silva (2007) : les explications floues et le sophisme de la nomenclature.

De plus, les auteurs se gardent bien de circonscrire précisément ce qu'est, et ce que n'est pas la CC, en utilisant l'expression « *generally considered* ». Les auteurs semblent craindre de proposer une définition qui omette des aspects de la CC et cherchent en conséquence à se garder une porte de sortie. On peut aussi se demander : par qui est-elle généralement considérée ainsi? La définition ne réfère pas à des travaux antérieurs et on ne peut donc pas savoir sur quoi s'appuie cette affirmation.

Par contre, même si la définition proposée pose plusieurs problèmes, d'autres éléments émergent pour préciser de quoi il est question quand on parle de charge cognitive. Notamment, Sweller (Sweller et al., 1998) commence à utiliser l'expression *working memory load* comme alternative à l'expression *cognitive load*. Bien que la référence à la MdT n'ait pas été intégrée à sa définition de la CC, on peut néanmoins confirmer que Sweller considère maintenant que la charge cognitive est constituée des demandes qui sont faites sur la mémoire de

travail pour accomplir une tâche, alors que dans les périodes précédentes, on devait présumer qu'il s'agissait d'une déduction correcte.

Un développement important est que Sweller et ses collègues van Merriënboer et Paas (1998) introduisent la distinction entre les trois dimensions de la CC : la charge mentale (la demande en ressources pour réaliser la tâche), l'effort mental (les ressources réellement investies par l'apprenant) et la performance ²⁰.

Finalement, la découverte de l'effet de modalité change également la TCC en agissant sur la distribution de la CC entre les deux sous-processeurs de la MdT pour mieux exploiter l'ensemble de la MdT, plutôt qu'en réduisant la CC. Sweller réfère à cette façon d'intervenir sur la CC comme une expansion virtuelle de la capacité de CC, qui n'est toutefois possible que dans certaines conditions. Il semblerait plus juste de parler de pleine utilisation de la MdT que d'expansion virtuelle. Dans le prochain chapitre, je reviendrai sur le fait que la pleine utilisation de la MdT par des stratégies qui exploitent ses deux sous-processeurs ne constitue pas une expansion de capacité de la MdT et ne réduit pas la charge cognitive ²¹.

5.7.1.2. La surcharge cognitive

C'est dans l'article de 1998 que Sweller et ses co-auteurs commencent à utiliser plus fréquemment le mot surcharge (« *overload* ») ou des expressions similaires comme le verbe « *exceed* », en parlant de tâches pour lesquelles la demande en ressources dépasse la capacité de la MdT. Le terme surcharge en propre revient trois fois, soit en parlant de surcharge de la mémoire de travail, soit en parlant de surcharge cognitive, que l'on peut considérer comme des expressions équivalentes du point de vue de Sweller. Il est maintenant clair que la surcharge de la MdT ou surcharge cognitive est une cause majeure des effets de charge cognitive inutile.

Le concept de surcharge cognitive est également évoqué à plusieurs autres reprises sans utiliser l'expression à proprement parler. Quelques exemples suivent :

²⁰ La distinction entre charge mentale et effort mental fait écho à celle en psychologie cognitive entre tâche et activité, la première étant ce qui est à faire par le sujet et la seconde étant ce qui est réellement fait par le sujet.

²¹ Par ailleurs, en psychologie cognitive, l'expansion de la MdT réfère plutôt à l'externalisation de la MdT vers l'environnement, déjà à cette époque (voir par exemple Zhang, 1997).

« A combination of high intrinsic and high extraneous cognitive load may be **fatal to learning because working memory may be substantially exceeded**. [accentuation ajoutée] (Sweller et al., 1998, p. 263)

[...] an instructional design [...] may be further improved by encouraging learners to engage in conscious cognitive processing that is directly relevant to the construction of schemas. Obviously, this approach **will only work if the total cognitive load** associated with the instructional design, or the sum of intrinsic cognitive load plus extraneous cognitive load plus germane cognitive load, **stays within working memory limits**. [accentuations ajoutées] (Sweller et al., 1998, p. 264)

[...] instructional designs that are successful in decreasing extraneous cognitive load may become even more effective if they increase germane cognitive load, **provided that total cognitive load stays within limits**. [accentuation ajoutée] » (Sweller et al., 1998, pp. 288-289)

L'expression « surcharge cognitive » (« *cognitive overload* ») n'est pas utilisée dans ces passages, mais la même idée est exprimée dans ces citations, qui suggèrent toutes que la surcharge cognitive est la cause directe de la réduction de l'apprentissage dans la TCC.

5.7.1.3. La charge cognitive inutile

Le concept de charge cognitive inutile demeure stable à cette période. La CCE est causée par l'effort mental excédentaire requis pour traiter les matériels et activités d'apprentissage mal conçus, et relève donc de problèmes dans le design de ces matériels et activités (Sweller et al., 1998, p. 259). Sweller considère toujours que la réduction de la CCE est le cœur de la TCC : « *Extraneous cognitive load [...] provides the core of cognitive load theory and is under the direct control of instructional designers.* » (Sweller et al., 1998, p. 262)

5.7.1.4. La charge cognitive intrinsèque

La CCI est présentée en étroite relation avec l'effet d'interactivité entre les éléments. Sans interactivité entre éléments, la CCI est faible et une plus grande proportion de la MdT est disponible pour composer avec l'éventuelle CCE.

Sweller affirme que l'interactivité entre éléments peut être déterminée en comptant le nombre d'éléments en fonction du niveau d'expertise (Sweller et al., 1998, p. 261).

Puisque les schémas déterminent ce qui est un élément en MdT, la CCI d'une tâche est forcément liée au niveau d'expertise de l'apprenant. Au-delà de la variabilité liée au niveau d'expertise, Sweller considère toujours que la CCI est fixe pour une tâche et un matériel donnés : elle ne peut pas être influencée par le design. Elle doit cependant être prise en considération.

5.7.1.5. La charge cognitive pertinente

La charge cognitive pertinente est un type de charge cognitive causé par un design pédagogique qui fait augmenter les traitements réputés mener à la construction des schémas en MLT. L'effet de variabilité des exemples est à l'origine du concept de CCP : en étudiant et en comparant différents exemples d'un même type de problème, la CC augmente, mais elle favorise l'élaboration de schémas basés sur les caractéristiques structurelles des problèmes.

La CCP est un des changements majeurs de cette phase de développement de la TCC. Là où la TCC considérait auparavant que le design pédagogique était au mieux neutre, au pire une source de CCE, le concept de CCP permet de rendre compte de changements dans le design pédagogique qui sont positifs pour l'apprentissage.

Pour obtenir un effet de CCP, il doit y avoir une partie de la capacité de la MDT qui est disponible pour recevoir cette charge additionnelle. Donc, la CCI ne doit pas être trop élevée et la CCE doit être faible ou absente. Une conception pédagogique optimale réduit la CCE et augmente la CCP : Sweller parle de rediriger l'attention des apprenants vers des processus pertinents à la construction des schémas. Bref, la CCP serait une question de focus attentionnel.

« *The combination of decreasing extraneous cognitive load and at the same time **increasing germane cognitive load involves redirecting attention**: Learners' attention must be withdrawn from processes not relevant to learning and **directed toward processes that are relevant to learning and, in particular, toward the construction and mindful abstraction of schemas**. [accentuations ajoutées] »
(Sweller et al., 1998, p. 264)*

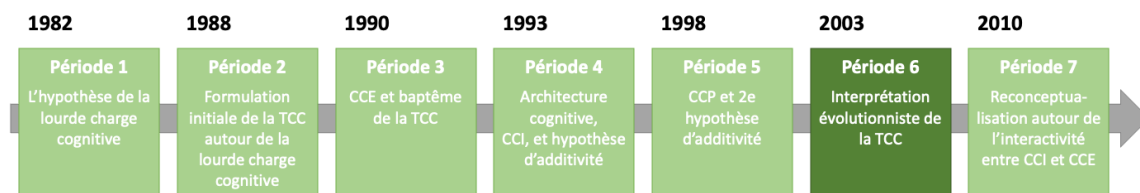
Les effets de CCP sont présentés comme des effets que l'on peut obtenir après avoir réduit la CC totale par réduction de la CCE ou par gestion de la CCI. Mais il ne suffit pas d'éviter la surcharge cognitive pour obtenir un effet de CCP. Que l'on élimine la surcharge par réduction de la CCE ou par gestion de la CCI, il est essentiel de faire d'autres ajustements à la tâche. Ces ajustements doivent augmenter la CC totale, tout en rehaussant les apprentissages, pour que l'on puisse affirmer qu'il y a eu CCP.

« Although [a simple-to-complex ordering of problems] prevents cognitive overload—an important consideration under very high intrinsic cognitive load conditions—it neither decreases extraneous cognitive load nor increases germane cognitive load. Cognitive load theory predicts more effective learning if problem formats are used that decrease extraneous cognitive load (e.g., goal-free problems, worked examples, completion assignments) in combination with more random sequences that increase germane cognitive load. » (Sweller et al., 1998, p. 289)

On voit dans cette citation que la gestion de la CCI lorsqu'elle est aux limites de la capacité de MdT ne constitue pas une intervention sur la CCP. La réduction de la CCE ne suffit pas non plus à produire des effets de CCP. On génère une CCP par des interventions délibérément orientées vers celle-ci, et dans la mesure où la CCE et la CCI n'occupent pas déjà toute la capacité cognitive disponible.

5.8. Période 6 : l'interprétation évolutionniste de la TCC (2003+)

Figure 5.10 – Période 6 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes



La période 6 de développement de la TCC la voit se doter d'une certaine forme de métathéorie, ou du moins d'un cadre interprétatif, ancré dans la théorie de l'évolution. Bien que Sweller associe ensuite chacun des effets de la TCC à ce nouveau cadre interprétatif, les concepts qui sont au cœur du présent mémoire ne sont pas modifiés par ce nouveau cadre de référence. Puisqu'il s'agit d'un développement majeur de la TCC qui demeure à ce jour une partie intégrante de la TCC, il paraît essentiel de définir une nouvelle période qui débute à partir du moment où la TCC est présentée dans cette perspective évolutionniste. Toutefois, vu son caractère périphérique à la question de recherche du présent mémoire, je ne tenterai pas de présenter l'ensemble de l'interprétation évolutionniste de la TCC de façon exhaustive.

De façon concomitante à cette phase de développement, le rayonnement de la TCC (Ozcinar, 2009) suscite l'intérêt de nombreux chercheurs et la soumet à un examen attentif qui mènera à de nombreuses critiques que j'ai résumées dans le chapitre consacré à la problématique (Moreno, 2006; Schnotz & Kürschner, 2007; Cierniak et al., 2009; Gerjets et al., 2009; Beckmann, 2010; Brünken, Plaas, et al., 2010; de Jong, 2010; Horz & Schnotz, 2010; Moreno, 2010; Schnotz, 2010). Même si elles coïncident avec cette période, peu de ces critiques visent spécifiquement l'approche évolutionniste de la TCC; elles sont plutôt dirigées vers les aspects de la théorie qui ont déjà été décrits dans les périodes précédentes.

C'est en 2003 que Sweller introduit le cadre interprétatif évolutionniste de la TCC, dans le chapitre « *Evolution of human cognitive architecture* » du 43e volume de « *The psychology of learning and motivation* » (Sweller, 2003). Il y présente cinq principes généraux de traitement de l'information sous une perspective évolutionniste, qui sont toujours au cœur de la TCC aujourd'hui. Les noms des cinq principes seront modifiés pour adopter un nom définitif dans un article

subséquent (Sweller & Sweller, 2006; Chanquoy et al., 2007; Sweller, 2008; Sweller et al., 2011).

Le cadre interprétatif proposé par Sweller s'appuie sur une vision évolutionniste des systèmes naturels de traitement de l'information que seraient le génome et le système cognitif humain. Ces systèmes sont présentés comme des mécanismes d'adaptation des organismes à leur environnement, travaillant chacun sur une échelle de temps différente et avec des mécanismes qui lui sont propres, mais suivant des principes identiques. Sweller étoffera un peu ce cadre dans les années suivantes (Sweller, 2004; Sweller & Sweller, 2006; Sweller, 2008; Paas & Sweller, 2012), mais il est déjà très élaboré dès sa première publication. Il fait toujours partie de la TCC à ce jour et Sweller y réfère depuis dans les articles et chapitres de livres où il présente la TCC.

L'approche évolutionniste de la TCC a deux aspects : un aspect instrumental et un aspect analogique (Chanquoy et al., 2007). L'aspect instrumental cherche à expliquer le fonctionnement des systèmes naturels de traitement de l'information, dont le système cognitif fait partie, en analysant leur apparition, leur évolution, et leur rôle dans la survie de l'espèce. L'aspect analogique considère que le génome et la cognition humaine sont deux types de systèmes naturels de traitement de l'information, et que l'on peut donc établir des correspondances entre leur fonctionnement respectif. Les cinq principes d'apprentissage des systèmes naturels de traitement de l'information sont l'essence de l'aspect analogique de l'approche évolutionniste. Cet aspect est introduit dès 2003 (Sweller, 2003).

Un volet très important de l'aspect instrumental vient d'une proposition de David C. Geary, que Sweller a inclus dans la TCC. Geary (2002, 2005, sous presse, cité dans Sweller & Sweller, 2006, p. 435) avance qu'il y aurait deux types de connaissances liées à des mécanismes cognitifs et biologiques très différents : les connaissances biologiquement primaires et celles biologiquement secondaires²². Sweller reprend cette catégorisation dans la TCC en 2006 et en fait un fondement de la TCC (Sweller & Sweller, 2006).

²² Les expressions « connaissances biologiquement primaires » et « connaissances biologiquement secondaires » sont les traductions proposées par Chanquoy et collègues (2007) pour « *Biologically primary and biologically secondary knowledge* ».

5.8.1. Les connaissances biologiquement primaires

Les connaissances biologiquement primaires réfèrent à des mécanismes cognitifs innés, nécessaires à notre survie depuis tant de générations que les structures cognitives et biologiques qui les soutiennent sont programmés dans le code génétique de l'espèce. Ces connaissances sont acquises au fil du développement normal de l'enfant sans avoir besoin d'être enseignées. Par exemple, apprendre à marcher, apprendre à imiter les autres, apprendre à parler et à comprendre une langue maternelle, apprendre à reconnaître les visages, etc. Ce sont souvent des connaissances extrêmement complexes, très difficiles à reproduire dans des systèmes artificiels (ex. ordinateurs, robots, programmes d'intelligence artificielle). Les connaissances biologiquement primaires sont spécialisées et ne peuvent réaliser que les opérations pour lesquelles elles ont évolué. Les changements s'y font sur une échelle de temps évolutionniste : elles évoluent sur des générations en fonction des mutations au hasard et des pressions sélectives de l'environnement.

5.8.2. Les connaissances biologiquement secondaires

Les connaissances biologiquement secondaires sont celles requises par l'environnement spécifique dans lequel un organisme se développe et vit, qui ne sont pas soutenues par des sous-systèmes spécialisés acquis au cours de notre évolution. La lecture ou l'écriture en sont des exemples. Les connaissances acquises par l'enseignement sont principalement des connaissances secondaires. La TCC s'intéresse donc aux mécanismes d'acquisition des connaissances biologiquement secondaires, puisqu'elle porte sur les méthodes d'enseignement efficaces et efficientes (Chanquoy, et al., 2007; Sweller, 2010a; Sweller, et al., 2011). Elles sont acquises par le biais d'un système général de traitement de l'information : notre système cognitif, qui est composé lui-même d'éléments biologiquement primaires et des connaissances biologiquement secondaires acquises au fil des expériences vécues. Ce système est assez souple pour traiter des informations de natures variées (Chanquoy, et al., 2007; Sweller, 2010a; Sweller, et al., 2011). Contrairement aux changements qui touchent les connaissances primaires, les changements aux connaissances secondaires s'effectuent en des temps relativement courts, à mesure que le système cognitif traite et organise de nouvelles informations.

5.8.3. Des prises de position sur certains aspects de la cognition humaine

Dans cette période, Sweller adopte deux positions importantes pour la TCC.

Premièrement, il commence à affirmer que l'exécutif central de la MdT est constitué des schémas stockés en MLT, une forme de rupture avec le modèle de la MdT de Baddeley (Sweller, 2003; van Merriënboer & Sweller, 2005; Sweller & Sweller, 2006; Chanquoy et al., 2007, pp. 150-151; Sweller et al., 2011, p. 35). En somme, le focus attentionnel, l'activation des connaissances en MLT et le traitement sémantique des informations en MLT seraient largement guidés par les connaissances biologiquement secondaires. Il estime que c'est la seule position qui ne mène pas à une régression infinie de structures de contrôle, une forme de mise en abîme qui défierait la logique.

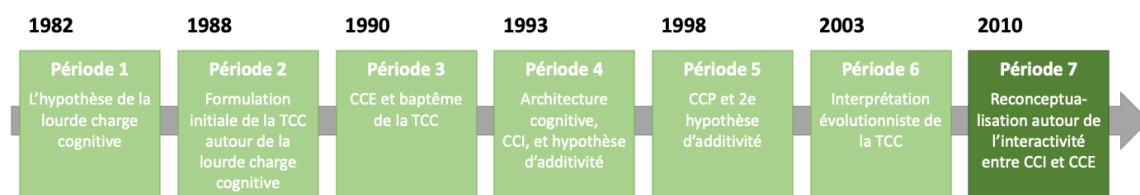
Deuxièmement, l'approche évolutionniste lui permet de mieux expliquer le rôle et la nature de l'analyse moyens-fins. Il s'agirait d'une stratégie pour faire face aux situations où aucun schéma ne peut être activé en MLT, donc aucune connaissance secondaire, et qui doit donc forcément être de nature biologiquement primaire. Elle correspond à un principe de genèse au hasard, analogue à celui des mutations au hasard dans le génome, qui peut identifier des solutions par essais et erreurs, mais à un coût élevé.

5.8.4. Débat entourant l'apprentissage par la découverte

Cette période correspond aussi à la participation de Sweller et des chercheurs Paul Kirshner et Richard Clark (Kirschner et al., 2006) au débat entourant l'efficacité de certaines méthodes pédagogiques associées au constructivisme (Mayer, 2004; Kirschner et al., 2006; Hmelo-Silver, Golan Duncan, & Chinn, 2007; Kuhn, 2007; Schmidt, Loyens, van Gog, & Paas, 2007; Sweller et al., 2007; Tobias & Duffy, 2009), qui a fait grand bruit à l'époque et dont les échos retentissent encore aujourd'hui. Bien qu'il s'agisse d'un moment fort pour la TCC, cette série d'articles ne présente aucun changement conceptuel ou théorique à la TCC et ne sera donc pas décrite en détail ni analysée dans le mémoire.

5.9. Période 7 : la reconceptualisation de la TCC autour de l'interactivité entre éléments intrinsèques et inutiles (2010+)

Figure 5.11 – Période 7 de l'évolution de la TCC en relation avec les autres périodes



La période 7 débute avec la réaction de Sweller à plusieurs des critiques de la TCC publiées pendant la période précédente, plus particulièrement celles qui remettaient en question la catégorisation des trois types de charge cognitive, leur additivité, et la façon de déterminer dans quelle proportion les trois types de charge étaient à l'œuvre dans une tâche donnée, incluant la difficulté de les mesurer de façon différenciée (Moreno, 2006; Schnotz & Kürschner, 2007; Cierniak et al., 2009; Gerjets et al., 2009; Beckmann, 2010; Brünken, Plaas, et al., 2010; de Jong, 2010; Moreno, 2010).

En réponse à ces critiques, Sweller publie en 2010 l'article *Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load* (Sweller, 2010b), qui modifie de façon importante la conceptualisation des types de CC. Sweller y reconnaît d'abord le problème.

« *The mechanisms underlying extraneous and germane cognitive load have been specified in a differential manner for each task to which they are applied but tend not to be specified in unified theoretical terms (Beckmann 2010; Schnotz and Kurschner 2007) and that omission is beginning to result in some serious misunderstandings and contradictions concerning the relations between the categories of cognitive load.* » (Sweller, 2010b, p. 123)

La révision des types de CC qu'il décrit par la suite change l'interprétation des effets de CC et sur la mesure de la CC. Il s'agit de la dernière révision majeure de la TCC proposée par Sweller où des concepts-clés de la TCC sont modifiés.

Il faut noter que Sweller ne répond pas à toutes les critiques. Il ignore notamment la suggestion de Beckmann (2010) de tenir compte à la fois des informations à traiter et des opérations mentales de traitement des informations pour

caractériser la charge cognitive d'une tâche. Je reviendrai sur cette critique dans le prochain chapitre.

La période 7 coïncide avec un mouvement où la TCC élargit quelque peu son champ en s'intéressant à de nouveaux effets découverts en-dehors du paradigme de la TCC et en les analysant selon son propre cadre de référence. Comme par exemple l'échec productif (Kapur, 2008; Kapur & Kinzer, 2009; Kapur, 2010, 2011, 2012; Kapur & Bielaczyc, 2012), étudié dans le cadre de la TCC par Sweller et par certains de ses proches collaborateurs (Kalyuga & Singh, 2016; Likourezos & Kalyuga, 2017; Ashman, Kalyuga, & Sweller, 2020; Chen & Kalyuga, 2020) ou l'entraînement à la récupération (« *retrieval practice* » ou « *testing effect* ») (Karpicke & Blunt, 2011b, 2011a; Grimaldi & Karpicke, 2012; Lechuga, Ortega-Tudela, & Gómez-Ariza, 2015), aussi analysé dans le cadre de la TCC (Leahy, Hanham, & Sweller, 2015; Hanham, Leahy, & Sweller, 2017; Chen, Castro-Alonso, Paas, & Sweller, 2018; Leahy & Sweller, 2019; Chen & Kalyuga, 2021; Chen, Paas, & Sweller, 2021).

La TCC développe aussi son analyse de l'apprentissage collaboratif (voir par exemple Kirschner, Sweller, Kirschner, & Zambrano R, 2018; Zambrano, Kirschner, Sweller, & Kirschner, 2019) initiée d'abord par les travaux de Femke Kirschner et collègues sur le concept de mémoire de travail collective (Femke Kirschner, Fred Paas, & Paul A. Kirschner, 2009; Femke Kirschner, Fred Paas, & Paul A Kirschner, 2009).

Bien que cet élargissement de la portée de la TCC soit intéressant et puisse faire l'objet d'explications abondantes, ce sont les modifications aux concepts fondamentaux au cœur de la TCC évoquées au tout début de la présente section qui sont pertinents à l'analyse menée dans ce mémoire. Les prochaines sous-sections vont donc se concentrer sur ces modifications.

5.9.1. L'interactivité entre éléments comme explication de la CC totale

L'un des changements majeurs apportés à la TCC par l'article « *Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load* » est que Sweller considère maintenant que l'interactivité entre éléments est la source principale à la fois de la CCI et de la CCE. En révisant l'effet d'interactivité entre éléments pour y inclure la CCE, Sweller adopte en partie la position d'un de ses critiques, Beckman (2010).

L'interactivité entre éléments était auparavant l'effet fondamental de la CCI : la CCI était constituée des éléments interactifs en MDT qu'il fallait apprendre, et en

présence d'une faible CCI, il était difficile d'obtenir des effets de CCE car la faible complexité de la tâche risquait peu de surcharger la MdT. L'effet d'interactivité entre éléments permettait d'expliquer que les effets de CCE ne se produisaient qu'en présence d'une forte CCI. L'effet d'interactivité entre éléments est maintenant étendu à la CCE : la CC sera dorénavant l'ensemble des éléments interactifs en MDT, dont certains sont inutiles et d'autres intrinsèques.

« Intrinsic cognitive load is caused by element interactivity that cannot be eliminated without altering the nature of the material that is learned. Extraneous cognitive load is element interactivity that is caused by instructional factors and so can be eliminated by altering instructional procedures. » (Sweller, 2010b, p. 136)

Quand un matériel ou une tâche d'apprentissage mal conçus ajoutent de la CCE, celle-ci interagit avec les éléments intrinsèques, ce qui les rend les éléments inutiles difficiles ou impossibles à ignorer. On ne peut pas compléter la tâche sans traiter les éléments inutiles. Si les éléments inutiles n'étaient pas interactifs avec les éléments intrinsèques (eux-mêmes déjà interactifs entre eux), il serait peut-être plus facile d'en faire fi et de se concentrer sur les éléments intrinsèques. Mais si les éléments inutiles sont interactifs avec les éléments intrinsèques, ils sont nécessairement considérés simultanément. En présentant la CCE comme interactive avec la CCI, on explique encore mieux l'interférence de la CCE avec le traitement des éléments appartenant à la CCI : au-delà de consommer des ressources de MdT qui ne sont plus disponibles pour la CCI, l'interaction entre tous les éléments fait en sorte que les éléments inutiles sont liés aux éléments intrinsèques, comme si les éléments inutiles se dressaient en obstacles à franchir pour gagner l'accès aux éléments intrinsèques.

L'effet d'attention partagée permet de bien illustrer cette interférence incontournable entre la CCI et la CCE. En présence d'éléments interactifs intrinsèques séparés dans le temps ou dans l'espace, il est absolument nécessaire d'en faire l'intégration mentale pour obtenir l'information complète : l'ensemble des éléments intrinsèques interactifs ne peut pas être considéré sans passer par l'intégration mentale qui impose de la CCE.

Cette révision de l'effet d'interaction entre éléments renforce l'hypothèse d'additivité. Il est admis depuis l'introduction de la CCI dans la TCC que toute la CC, peu importe son origine, consomme les mêmes ressources en MdT. Déjà dans les textes des périodes 1 à 3, soit avant l'introduction de la CCI et de l'architecture cognitive dans la TCC, il était clair que tant les activités mentales favorisant

l'apprentissage que celles qui l'entravaient, consommaient les mêmes ressources cognitives. Maintenant que l'on considère que la CCE et la CCI sont interactives entre elles, elles sont forcément additives et même inséparables, à moins de modifier la tâche ou le matériel pour réduire l'une ou l'autre.

Sweller croit qu'il n'est possible de départager adéquatement ce qui est intrinsèque de ce qui est inutile dans une tâche donnée que par une analyse a priori qui tienne compte du niveau d'expertise des apprenants. Les apprenants qui ont un faible niveau d'expertise ne sauront pas nécessairement départager adéquatement dans quelle mesure leurs efforts mentaux visent le traitement de la CCE ou de la CCI ²³.

Quant à la CCP, elle ne constitue plus une source indépendante de CC et n'est donc pas mentionnée dans la nouvelle version de l'effet d'interactivité entre éléments. La prochaine section décrit ce qui a changé avec la CCP et pourquoi elle n'est plus considérée comme additive avec la CCI et la CCE.

5.9.2. La CCP réinterprétée comme les ressources de MdT consacrées à traiter la CCI

La CCP fait également l'objet d'une révision majeure dans l'article qui marque le début de la période 7. La CCP n'est plus un type de charge distinct en MdT qui s'additionne à la CCI et à la CCE. Elle est maintenant conceptualisée comme la part des ressources de MdT qui est allouée au traitement de la CCI. Cette révision marque une distinction claire entre la dimension de charge mentale et la dimension d'effort mental de la CC : la CCP devient ainsi l'effort mental consacré à ce que l'on pourrait appeler la charge mentale intrinsèque ²⁴. L'apprentissage

²³ Remarquons qu'un peu plus tard dans cette période – et dans la continuité de travaux antérieurs sur l'idée de charge métacognitive (pour quelques exemples, voir Valcke, 2002) – des travaux d'autres chercheurs ont justement visé à entraîner des apprenants à reconnaître et à gérer leur propre charge cognitive dans une tâche, avec un certain succès (Agostinho, Tindall-Ford, & Roodenrys, 2013; Sithole, Chandler, Abeysekera, & Paas, 2017; Hadie et al., 2018). Ces résultats ne contredisent pas l'affirmation de Sweller, car les expériences visaient justement à relever le niveau d'expertise des apprenants, et ce plus particulièrement sur le plan de certaines connaissances et stratégies métacognitives.

²⁴ Sweller n'utilise pas les termes de charge mentale et d'effort mental dans cet article : il s'agit de mon interprétation du sens de ses propos, car les explications qu'il donne correspondent à ces concepts même s'il n'utilise pas les termes qui les désignent. En fait, Sweller n'a utilisé les termes de charge et d'effort mental qu'une seule fois depuis l'article co-signé avec Paas et van Merriënboer en 1998 (Sweller et al., 1998), et c'est dans un autre article co-signé avec van Merriënboer (van Merriënboer & Sweller, 2005). J'en conclus que ses co-auteurs de 1998 sont probablement à l'origine de la terminologie faisant la distinction entre la demande prévue d'une

complet ne peut avoir lieu que lorsque la CCP est égale à la CCI. En l'absence d'un traitement complet de la CCI par l'apprenant, certains éléments seront manquants pour élaborer ses schémas.

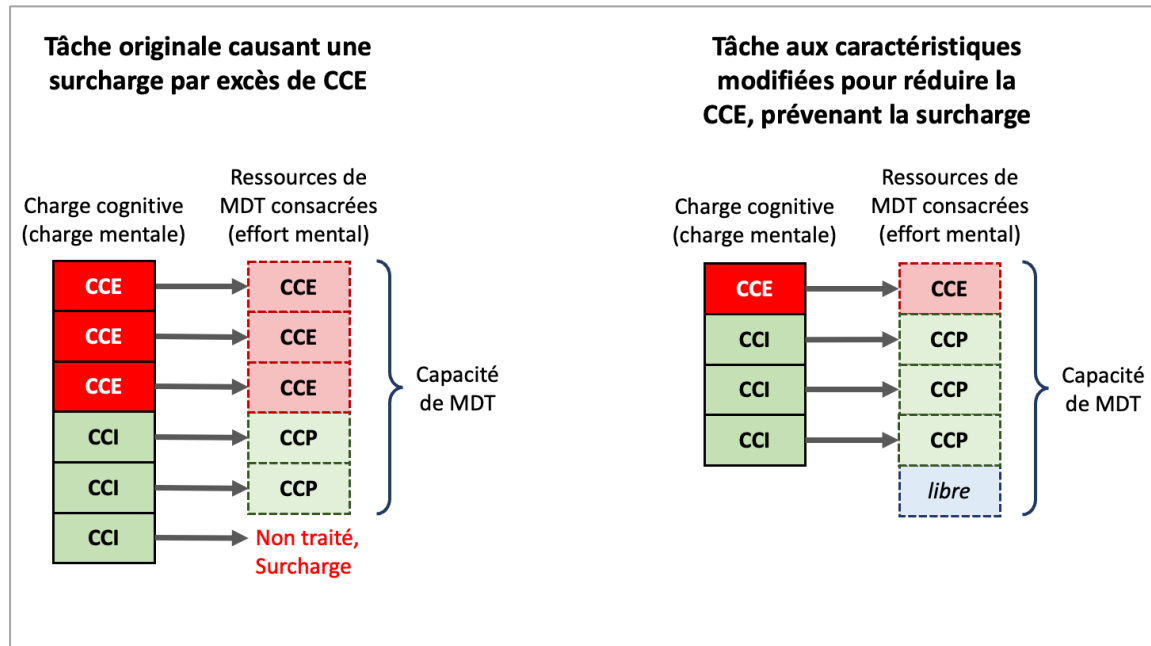
Cette façon de concevoir la CCP reconnaît deux types de situations où les apprenants ne traitent pas l'ensemble de la charge mentale intrinsèque d'une tâche. Le premier cas est bien connu : c'est lorsque la charge mentale dépasse la capacité de MdT. Le deuxième cas a été auparavant évoqué indirectement par John Sweller, mais est ici pleinement endossé : lorsqu'il y a engagement incomplet dans la tâche.

Sweller estime que sa nouvelle définition de la CCP élimine les contradictions et incohérences rapportées par ses critiques. Pour une tâche donnée, dont la CCI est par définition fixe, seule une hausse de CCE peut hausser la CC totale (hausser la CCI requiert un changement de tâche). Lorsque la somme des éléments interactifs intrinsèques et inutiles dépasse la capacité de MdT, la CCE empêche la CCP d'atteindre le niveau de la CCI. Autrement dit, l'effort mental consacré à traiter la CCE est trop important pour qu'il reste suffisamment de capacité disponible pour traiter toute la CCI. En situation de surcharge, il y a donc un système de vases communicants entre CCE et CCP, la première devenant un obstacle à la seconde. En modifiant la tâche ou le matériel de manière à réduire la CCE, la CCP peut remonter – idéalement jusqu'à rejoindre le niveau de la CCI – en récupérant la capacité de MdT libérée par la diminution de la CCE. La prochaine figure illustre comment la CC totale peut varier dans ses dimensions de charge mentale et d'effort mental avec cette « complémentarité » de la CCE et de la CCP.

tâche et l'effort effectivement fourni lors de sa réalisation. Même lorsque Sweller fait explicitement cette distinction, comme il en est question dans la présente section, il n'emploie jamais ces termes en-dehors de ses articles co-signés avec van Merriënboer.

Figure 5.12 – Relations entre CCI, CCE et CCP, avec ou sans surcharge

Illustration originale. Chaque rectangle représente un élément en MdT. L'acronyme dans le rectangle désigne le type de charge auquel l'élément est associé.



Dans la figure, on peut observer que la CCI reste la même dans les deux versions de la tâche (3 éléments), alors que la version de droite a les différences suivantes avec la tâche originale de gauche :

- la CCE est réduite;
- la CCP est plus élevée grâce à la capacité libérée par la réduction de CCE;
- La CCP devient égale à la CCI;
- La CC totale diminue, à cause de la baisse de CCE.

Notons que dans une autre tâche, une baisse de CCE pourrait ne pas mener à une baisse de CC totale si la capacité libérée est complètement récupérée par la CCP.

En considérant la CCI et la CCE comme additives et interactives entre elles, et en définissant la CCP en termes d'effort mental consacré à la CCI, la CCP ne peut occuper que l'espace qui reste disponible en MdT une fois la CCE prise en considération. Si la CC totale dépasse la capacité de MdT, alors la CCP ne

pourra pas atteindre le niveau de la CCI : elle sera en quelque sorte tronquée, car la MdT ne peut accueillir tous ses éléments. Cela explique les entraves à l'apprentissage : certains éléments intrinsèques ne seront pas traités et ne pourront donc pas être appris. Si l'on peut réduire la CCE, la CCP pourra augmenter en profitant de la capacité de MdT libérée. En l'absence de surcharge et en supposant un plein engagement de l'apprenant dans la tâche, la CCP devrait être égale à la CCI, et l'effort mental total (CCP+CCE) devrait être équivalent à la charge mentale totale (CCI+CCE).

Avec ces nouvelles conceptions de la CCI, de la CCP et de la CCE, Sweller estime qu'il sera plus facile de mesurer expérimentalement les différents types de charge, en analysant a priori la CC et en faisant varier soit la CCI, soit la CCE, et en observant les résultats. Il doute que des moyens psychométriques puissent arriver à bien mesurer la CCP ou la CCE car les apprenants ne perçoivent vraisemblablement que leur effort mental total, soit l'interactivité entre tous les éléments. Par contre, la CCE et la CCI peuvent être estimés a priori par l'analyse des matériels et des tâches proposés aux apprenants. Il croit également que les évaluations subjectives de la CC utilisées dans plusieurs expériences sont valables et peuvent servir à estimer la différence de CC totale entre deux tâches. Ces échelles sont des échelles d'effort mental. Justement, dans les recherches ayant mené au constat que l'additivité de la CCI, de la CCE et de la CCP ne s'avère pas, on mesurait la CC avec des mesures d'effort mental. Comme l'effort mental, par définition, ne peut pas dépasser la capacité de la MdT, il est normal que sa mesure n'ait pas pu refléter l'ensemble de la CC d'une tâche qui place l'apprenant en surcharge cognitive.

Cette réinterprétation du concept de CCP ne semble pas avoir été adoptée aussi rapidement que ne l'avaient été les concepts de CCE et de CCI lors de leur introduction. Pourtant, Slava Kalyuga, un proche collaborateur de Sweller et chercheur très influent dans la TCC, accepte cette nouvelle proposition et argumente en sa faveur dès l'année suivante dans l'article : « *Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need?* » (Kalyuga, 2011). Malgré ces deux articles très importants sur le plan théorique, la redéfinition de la CCP ne semble pas avoir été remarquée par tous les chercheurs qui vont publier des articles empiriques par la suite : plusieurs articles publiés par d'autres chercheurs après 2010 continuent de faire référence à l'ancienne conception de la CCP et de la CCI. Cela est peut-être dû à la diversification du bassin de chercheurs qui ont fait des études empiriques sur la TCC pendant cette période : des chercheurs dont la TCC n'est pas le cadre conceptuel principal n'auront

peut-être pas pris soin de consulter de façon exhaustive la littérature théorique sur la TCC pour en avoir le portrait le plus précis et le plus récent.

5.9.3. Réinterprétation des effets de CC

Sweller réinterprète les principaux effets de CC à la lueur de sa mise à jour de la TCC.

5.9.3.1. Réinterprétation des effets de CCE

Sweller intègre la notion d'éléments interactifs à tous les effets de CCE, mais les effets demeurent fondamentalement les mêmes. Pour chaque effet de CCE, il explique comment la CCE est constituée d'éléments interactifs supplémentaires à ceux de la CCI. Par exemple, l'analyse moyens-fins ajoute des éléments interactifs inutiles à l'apprentissage de la résolution de problèmes. En conséquence, tous les effets qui empêchent le recours à l'analyse moyens-fins réduisent automatiquement la quantité totale d'éléments interactifs (e.g. effets de non-spécification du but, du problème résolu, du problème à compléter). L'effet de redondance s'explique par le fait que le design d'un matériel rend interactifs des éléments qui ne devraient pas l'être, en forçant l'apprenant à les mettre en relation pour savoir s'ils sont équivalents ou non.

L'effet de modalité demeure inchangé puisqu'il ne repose pas sur une altération du nombre d'éléments interactifs, mais plutôt sur une technique permettant de mieux utiliser la capacité de la MDT pour traiter les éléments interactifs présents.

5.9.3.2. Réinterprétation des effets de CCI

Les effets de CCI (effet des éléments interactifs présentés isolément et effet molaire-modulaire) demeurent les mêmes : la réinterprétation n'affecte pas leur explication.

L'effet d'interactivité entre éléments continue d'expliquer pourquoi les effets de CCE ne se produisent que lorsque la CCI est élevée, mais en intégrant cette fois la CCE au bassin global des éléments interactifs.

5.9.3.3. Réinterprétation des effets de CCP

Ce sont les effets de CCP (effet d'imagination, effet de variabilité des exemples, effet d'auto-explication) qui changent le plus puisqu'ils doivent être réinterprétés comme des effets de CCI.

L'effet de variabilité des exemples est maintenant expliqué par un rehaussement de la CCI : en plus d'apprendre à résoudre une classe de problèmes, l'ajout d'exemples variés fait apprendre à reconnaître les situations qui font partie de la même catégorie de problèmes. Les apprentissages attendus sont donc plus grands. Cette révision change l'explication de l'effet, car il était auparavant expliqué par un déplacement du focus attentionnel depuis des éléments inutiles vers des éléments pertinents. Selon la nouvelle explication donnée par Sweller, l'effet de variabilité change la tâche au point de changer ce qui est appris car il y a des informations supplémentaires dans la CCI de la tâche qui sont ajoutées par les exemples variés. Ceux-ci sont choisis pour la constance des caractéristiques structurelles tout en présentant une diversité de caractéristiques de surface, et la comparaison des exemples pour en faire ressortir ces caractéristiques structurelles représente une hausse de CCI.

Les deux autres effets auparavant associés à la CCP, l'effet d'imagination et celui d'auto-explication, amenés dans la TCC après le début de la période 5, demeurent liés au focus attentionnel. Ils se produiraient en orientant l'apprenant vers le traitement des éléments interactifs associés à la CCI au détriment de ceux associés à la CCE. Ces effets rehausseraient donc la CCP et diminueraient la CCE par un changement des activités mentales et du focus attentionnel des apprenants, plutôt qu'en changeant la CCE propre au matériel ou la CCI.

C'est un autre exemple des vases communicants entre la CCE et la CCP : même sans changer le matériel utilisé, la nature des activités mentales entraîne un déplacement du traitement depuis des éléments inutiles vers des éléments intrinsèques. C'est aussi un retour à l'hypothèse que le focus attentionnel joue un rôle dans les phénomènes de charge cognitive inutile, hypothèse qui avait été quelque peu délaissée après la période 3.

5.9.3.4. Conclusion sur la réinterprétation de tous les effets de CC autour de l'interactivité entre éléments

Sweller conclut de la réinterprétation des effets qu'il existe deux techniques générales pour réduire la CCE : les matériels peuvent être modifiés pour éliminer des sources de CCE, ou les consignes peuvent être modifiées pour amener les apprenants à se concentrer sur les processus cognitifs plus fructueux pour l'apprentissage. En d'autres termes, la CCE peut soit être réduite à la source par l'enseignant, soit être réduite par l'apprenant si on l'aide à orienter ses activités cognitives en priorité sur un traitement signifiant des éléments intrinsèques.

Ces deux approches générales de réduction de la CCE font en sorte que moins d'éléments inutiles vont interagir en MdT avec les éléments intrinsèques.

5.9.4. Les concepts de CC à la période 7

À plusieurs égards, Sweller paraît maintenant plus confiant d'avoir cerné les concepts de CC que dans les périodes précédentes. Alors qu'on sentait une démarche plutôt exploratoire dans les premières périodes (périodes 1 à 3), et qu'il conservait une ouverture à de nouveaux concepts de CC ou à des interprétations alternatives dans les périodes 4 à 6, sa façon d'expliquer les concepts de CC dans la période 7 est plus affirmative.

5.9.4.1. La charge cognitive

Un premier changement à souligner est que, contrairement aux périodes précédentes, Sweller affirme maintenant sans aucune forme de réserve que la CC totale est la somme de CCI et de la CCE : « *Overall cognitive load, on the current formulation, consists of an addition of intrinsic and extraneous cognitive load.* » (Sweller, 2010b, p. 128). Dans les périodes précédentes, il laissait toujours une porte ouverte à ce que d'autres sources de CC puissent être identifiées en spécifiant que la CCI et la CCE – et la CCP pendant les périodes 5 et 6 – faisaient partie de la CC totale sans exclure définitivement que d'autres sources de CC – non spécifiées – puissent également y contribuer.

Les changements que Sweller propose à certains concepts de CC donnent plus d'importance à la distinction entre la demande en ressources de MdT d'une tâche (soit la charge mentale) et les ressources de MdT qui lui sont effectivement consacrées (soit l'effort mental). Que ce soit par modification à la tâche ou par une redirection du focus attentionnel, Sweller accorde plus d'importance que dans les périodes précédentes à la distinction entre ce que la tâche demande et l'activité réelle de l'apprenant.

Bien que Sweller fasse une utilisation des termes de CC, de CCE et de CCI sans distinction explicite des dimensions de charge mentale et d'effort mental, quand on le lit attentivement, on découvre qu'il fait cette distinction de façon implicite, sans employer ces termes. Il semble utiliser la CCI et la CCE au sens de composantes de charge mentale; dès qu'il réfère plutôt à l'effort mental, il utilise plutôt l'expression « charge de mémoire de travail » (« *working memory load* »). Dans le cas particulier de la CCI, la CCP fait office de contrepartie en MdT. Par exemple, les deux passages suivants suggèrent que Sweller considère que la

CC est la charge mentale et qu'elle est distincte de l'allocation de ressources pour y répondre.

« [*Germane cognitive load*] refers to the working memory resources that the learner devotes to dealing with the intrinsic cognitive load associated with the information. » (Sweller, 2010b, p. 126)

« Because intrinsic and extraneous cognitive load are additive, an increase in extraneous cognitive load reduces the [working memory] resources available to deal with intrinsic cognitive load and hence reduces germane cognitive load. » (Paas, Gog, & Sweller, 2010, p. 117)

En n'utilisant pas les termes de charge mentale et d'effort mental – introduits dans l'article qui marque le début de la période 5 avec ses collègues Paas et van Merriënboer (Sweller et al., 1998) – Sweller se prive d'une clarté qui permettrait de saisir d'emblée des nuances qui peuvent demeurer cachées au lecteur qui n'y est pas particulièrement attentif. Ce manque de clarté contribue aux problèmes conceptuels qui seront décrits dans le prochain chapitre.

5.9.4.2. La surcharge cognitive

Sweller souligne souvent l'importance que la CC d'une tâche ne dépasse pas la capacité de la mémoire de travail pour éviter de réduire les apprentissages, mais sans utiliser le terme surcharge à proprement parler. C'est néanmoins l'article marquant le début d'une période qui évoque le plus souvent la notion de surcharge ou de dépassement de capacité de MdT, qui revient explicitement à sept reprises.

5.9.4.3. La charge cognitive inutile

Comme je l'ai expliqué plus tôt, le seul changement au concept de charge cognitive inutile est que la CCE est dorénavant considérée comme interactive avec la CCI.

Toutefois, Sweller ramène dans l'article de 2010 un cas particulier de la CCE qui me semble poser un problème conceptuel important. Sweller, dans une discussion sur la réinterprétation de l'effet d'imagination autour de l'effet des éléments interactifs intrinsèques et inutile, décrit un effet de renversement dû à l'expertise pour l'effet d'imagination : les novices ne peuvent généralement pas bénéficier de l'effet d'imagination car il provoquerait une surcharge cognitive chez eux, alors que les apprenants ayant un niveau d'expertise plus élevé en tirent profit.

Sweller affirme que chez les novices qui n'ont pas l'expertise suffisante pour traiter tous les éléments interactifs en MdT, les éléments excédentaires sont alors considérés comme inutiles (Sweller, 2010b, p. 135). Cela pose le problème conceptuel suivant : les éléments sont réputés intrinsèques s'ils doivent être appris et inutiles s'ils ne doivent pas l'être. Le fait de pouvoir désigner des éléments comme inutiles sur la base de leur nombre introduit une confusion entre la notion de surcharge et la notion de CCE. J'y reviendrai dans le prochain chapitre.

Par ailleurs, l'explication des effets d'imagination et d'auto-explication par une redirection du focus attentionnel depuis des éléments inutiles vers des éléments intrinsèques amène Sweller à considérer que la redirection du focus attentionnel constitue en soi une technique générale de réduction de la CCE.

*« Thus, there are two general techniques for reducing extraneous cognitive load. We can alter the instructional materials so that learners no longer engage in activities extraneous to learning **or we can directly instruct learners to use cognitive processes that encourage them, rather than an instructor, to eliminate activities extraneous to learning by engaging in activities conducive to learning.** [accentuation ajoutée] »* (Sweller, 2010b, p. 136)

Notons que Sweller parle ici des activités mentales et non des informations à traiter. C'est une forme de retour à la notion de charge cognitive comme une charge de *traitement* des informations qui était plus présentes lors des premières périodes de développement de la TCC. Mais elle semble quasi fortuite puisque Sweller n'explique pas la relation entre activités mentales et éléments à traiter en MdT.

La question de savoir si les activités mentales sont des éléments à part entière en MdT ou si seules les informations sur lesquelles s'opèrent les opérations mentales sont des éléments n'est jamais abordée directement par Sweller. Sa définition de ce qui constitue un élément est générale au point de ne rien exclure. Les différents paramètres mesurés alors qu'il était à la recherche de ce qu'est la CC dans sa simulation informatique de 1988 constituent l'un des rares cas où il a délibérément départagé les opérations des données. Cette expérience remonte à avant sa proposition de définir la charge cognitive comme la somme des éléments en MdT, et il n'y est pas revenu depuis pour clarifier si données et opérations sont toutes à la fois des éléments en MdT, et le cas échéant, si elles sont distinctes en MdT.

5.9.4.4. La charge cognitive intrinsèque

Le premier ajustement à la TCC qui concerne la CCI est l'interactivité de la CCI avec la CCE. Ce changement ne modifie pas vraiment le concept de CCI. Il ne fait que changer sa relation à la CCE.

Ce sont surtout les changements au concept de CCP qui ont des répercussions sur celui de CCI : l'ancienne notion de CCP est maintenant associée à l'effort mental dédié à la CCI. Dans le nouveau discours de Sweller, la CCI désigne maintenant la charge mentale associées aux éléments intrinsèques, soit la demande en ressources de MdT pour traiter les éléments à apprendre. Sa contrepartie en MdT est la CCP, qui désigne l'utilisation effective des ressources de MdT pour traiter la CCI. En découplant ces deux dimensions, Sweller réduit la portée du terme de CCI à sa seule dimension de charge mentale.

Sweller apporte également une précision importante au concept de CCI qui ne le transforme pas radicalement, mais permet quand même de poser un déterminant fondamental de ce qui constitue de la CCI : l'intention pédagogique. En effet, Sweller explicite pour la première fois l'importance des apprentissages visés pour déterminer ce qui constitue la CCI d'une tâche. Il adopte ainsi la position défendue d'abord par Schnotz et Kürschner (2007). Sont considérés comme intrinsèques les éléments qui correspondent à des apprentissages recherchés.

« Of course, what constitutes intrinsic or extraneous cognitive load depends on what needs to be learned. For example, if the goal of learning is to comprehend concepts incorporated in some text, using jargon may constitute an extraneous cognitive load. Alternatively, if the goal is to learn the specialised language used in an area, the "jargon" is intrinsic to the task (Schnotz and Kurschner 2007). Consequently, the same information may impose an intrinsic or an extraneous cognitive load depending on what needs to be learned. »

(Sweller, 2010b, p. 125)

Ainsi, pour une tâche donnée, une même information pourra donc devenir soit un élément intrinsèque, soit un élément inutile, selon qu'elle fait partie ou non des apprentissages attendus dans son contexte particulier. Sweller avait dans le passé plutôt insisté sur les informations du matériel à apprendre dans sa définition de la CCI que sur les objectifs pédagogiques sous-jacents.

5.9.4.5. La charge cognitive pertinente

Il reste peu à dire sur la nouvelle conception de la CCP qui n'a pas déjà été dit dans les sections précédentes : la CCP est maintenant la portion des ressources de MdT dédiée à traiter la CCI selon Sweller. En d'autres termes : la CCP est un synonyme pour la dimension d'effort mental de la CCI.

Cette reconceptualisation a amené des ajustements dans le premier des effets jusqu'alors associés à la CCP : l'effet de variabilité des exemples. L'effet d'imagination et l'effet d'auto-explication conservent la même explication.

L'effet de variabilité des exemples est maintenant un effet de CCI, où l'on modifie la tâche d'une manière qui augmente la CCI, mais qui augmente également les apprentissages.

Les effets d'imagination et d'auto-explication s'expliquent toujours par la redirection du focus attentionnel depuis des éléments inutiles vers des éléments intrinsèques, mais on départage maintenant la demande « théorique » des éléments intrinsèques de l'allocation réelles de ressources de MdT. Les effets sont centrés sur l'allocation des ressources. Cette redirection attentionnelle, favorisée par les consignes et la nature des activités mentales qu'elles entraînent, ont pour effet de réduire la CCE en MdT et d'augmenter le traitement des éléments intrinsèques, et ce sans changer le matériel à l'étude, au sens où les informations à manipuler sont les mêmes. Contrairement à l'effet de variabilité des exemples, on ne change pas la CCI dans sa dimension de charge mentale avec ces deux effets : selon Sweller, on favorise plutôt le traitement complet de la CCI en MdT. Je reviendrai sur cette interprétation dans l'analyse critique, car je considère que même si ce sont les mêmes éléments qui sont traités, la nature des activités mentales peut également jouer un rôle dans ces effets et il demeure possible qu'elles résultent en une CC plus élevée et non en un simple déplacement de la CC entre deux types.

5.10. Conclusion de l'analyse historique

John Sweller et des collaborateurs ont proposé le concept de « lourde charge cognitive » au milieu des années 1980 pour expliquer les faibles apprentissages réalisés dans des tâches impliquant la stratégie de résolution de problèmes nommée « analyse moyens-fins ». Le concept de lourde charge cognitive était mal défini dès le départ.

Les travaux de Sweller et de ses collaborateurs du début et du milieu des années 1980 ont mené à la proposition de la TCC à la fin des années 1980. John Sweller tentait alors de cerner ce qu'est la CC en s'intéressant aux aspects de traitement de l'information, de focus attentionnel et de quantité d'information à traiter. Au cours des 30 années suivantes, les différents concepts de charge cognitive vont être proposés et vont évoluer. De la « lourde charge cognitive » proposée en 1985 vont émerger trois concepts distincts : la charge cognitive (en 1988), la charge cognitive inutile (en 1990), et la surcharge cognitive (évoquée en 1988 et pleinement intégrée en 1998). La charge cognitive va progressivement être assimilée à la pression exercée sur la mémoire de travail (à compter de 1993), et elle va se décliner en différents types additifs : inutile (1990+), intrinsèque (1993+), et pertinente (1998-2010).

La charge cognitive sera expliquée de différentes façons au fil de l'évolution de la TCC, avec peu de réelles définitions, celles proposées étant très générales et peu éclairantes sur la nature du phénomène. Aux débuts de la TCC, Sweller situait la CC surtout dans le traitement des informations. Dans les périodes les plus récentes, il la situe davantage dans le nombre d'éléments interactifs à traiter en mémoire de travail. Bref, l'accent était mis sur les opérations mentales aux débuts de la TCC, pour se déplacer ensuite vers les informations sur lesquelles se réalisent les opérations mentales. Une ambiguïté subsiste quant à savoir si John Sweller considère les opérations mentales elles-mêmes comme des éléments en mémoire de travail.

La charge cognitive inutile est causée par le design de la tâche, qui ajoute une pression supplémentaire sur la mémoire de travail sans contribuer aux apprentissages.

La surcharge cognitive est le dépassement de la capacité de la MdT par les exigences d'une tâche.

Sweller associe la surcharge cognitive à la charge cognitive inutile. Cette association étroite est source d'une autre difficulté conceptuelle importante, car il y a parfois amalgame entre CCE et surcharge.

Le concept de charge cognitive intrinsèque sera proposé pour désigner les informations à apprendre, et qui ne peuvent donc pas être retirées d'une tâche sans changer ce qui sera appris.

Le concept de charge cognitive pertinente sera proposé pour expliquer que certaines interventions rehaussent la charge cognitive totale tout en améliorant l'apprentissage. Lors de son introduction, la CCP était réputée s'additionner à la CCE et à la CCI. Ce concept sera par la suite réinterprété comme la partie des ressources de mémoire de travail effectivement consacrées à traiter les éléments d'information à apprendre. La CCP ne sera alors plus additive puisqu'il s'agira dorénavant d'une dimension de la CCI. Les effets qui rehaussent la CCP seront réinterprétés soit comme des interventions qui redirigent l'attention sur les informations à apprendre, soit comme un rehaussement de la CCI de la tâche.

Chapitre 6 – Analyse critique

L'analyse historique a permis de relever un certain nombre de problèmes conceptuels dans la TCC. Le présent chapitre vise à élaborer sur ces problèmes afin de bien caractériser les faiblesses conceptuelles de la TCC.

Le problème fondamental consiste à savoir ce qu'est la charge cognitive. Sweller en propose des explications qui se précisent au fil du temps, mais qui demeurent insatisfaisantes à plusieurs égards. Ce problème se subdivise en plusieurs sous-problèmes, notamment des questions relatives au fonctionnement de la mémoire de travail, à la nature des éléments en MdT, et à la relation entre éléments en MdT et schémas en MLT. La section 6.1 décrira ces problèmes.

Un autre problème important est la confusion entre les effets de la charge cognitive inutile et ceux de la surcharge cognitive. Il sera traité dans la section 6.2.

La définition ou l'explication de chacun des types de charge cognitive (inutile, intrinsèque et pertinente) posent également des problèmes conceptuels propres à chacun. Ces problèmes spécifiques aux types de CC seront traités dans les sections 6.3 à 6.6.

Un dernier problème important concerne un double discours selon lequel la charge cognitive se calcule parfois en termes absolus et parfois en termes relatifs à la capacité de la mémoire de travail. Ce problème sera expliqué dans la section 6.7.

Je vais expliquer chacun de ces problèmes dans les sections suivantes. Mais d'abord, je vais apporter quelques précisions sur le fonctionnement de la mémoire de travail, qui permettront de mieux expliquer certains des problèmes conceptuels de la TCC.

6.1. Qu'est-ce que la charge cognitive?

Nous exposons dans la problématique que de Jong (2010) et Moreno (2010) estiment tous les deux que le concept même de charge cognitive manque de clarté. L'ouvrage francophone co-écrit par Lucille Chanquoy, André Tricot et John Sweller en convient également dès le début du chapitre 1 (Chanquoy et al., 2007, pp. 11-12).

C'est toujours le cas aujourd'hui, plus de 35 ans après que John Sweller ait parlé de charge cognitive pour la première fois (Owen & Sweller, 1985). La CC

n'a pas vraiment été définie avant la période 5 du développement de la TCC : « *Cognitive load is generally considered a construct representing the load that performing a particular task imposes on the cognitive system.* » (Sweller et al., 1998, p. 266). Cette définition est quasi-circulaire : la charge cognitive y est décrite comme une charge sur le système cognitif, ce qui n'explique guère plus que le terme « charge cognitive » lui-même. Mais il s'agit quand même de la première définition réelle. Avant cela, Sweller parlait de charge cognitive sans décrire exactement en quoi elle consistait. Il a exploré quelques explications possibles pour la charge cognitive en période 2 sans en adopter une en particulier. Il a commencé à faire le lien avec la mémoire de travail en période 4 (Sweller, 1993, p. 1), mais c'est seulement à la période 5 que la charge cognitive est véritablement décrite en lien avec la MdT, en utilisant l'expression « *working memory load* » comme synonyme de charge cognitive (Sweller et al., 1998).

Dans la version contemporaine de la TCC, John Sweller affirme que la CC totale est constituée de la somme de la CCI et de la CCE (Sweller, 2010b; Sweller et al., 2011, p. 58). La CCI et la CCE sont quant à elles composées des éléments interactifs en mémoire de travail. Les éléments interactifs constituant la CCI seraient les informations à apprendre. Les éléments interactifs constituant la CCE seraient ceux résultant soit de la manière dont on présente l'information, soit de la conception de la tâche, et qui ne conduisent pas aux apprentissages attendus. Sous cette description en apparence simple se cachent différents problèmes conceptuels.

Les types de charge cognitive, soit la CCE, la CCI et la CCP sont les construits pour lesquels des définitions plus formelles sont proposées, et ce dès la formulation de chacun de ces concepts. Il en va de même des dimensions de la CC que sont la charge mentale et l'effort mental, qui sont également mieux définies. En somme, on comprend mieux comment John Sweller conçoit la CC en analysant les définitions des types de CC et en sachant que la CC est la somme de la CCI et de la CCE, qu'en prenant connaissance de la définition qu'il donne de la CC.

En prenant appui sur les définitions des types de CC de Sweller, on peut formuler la définition suivante pour représenter sa vision de la CC : la charge cognitive d'une tâche est constituée de l'ensemble des éléments interactifs qui doivent être traités en mémoire de travail pour accomplir la tâche. Cette définition pose problème à différents niveaux.

Le premier sous-problème est relatif au traitement des informations, qui est en quelque sorte escamoté par Sweller dans l'estimation de la charge cognitive. Si la charge cognitive se résume à la somme des éléments interactifs en mémoire de travail, est-ce à dire que le traitement de ces éléments n'a lui-même aucun impact significatif sur la charge cognitive? Quel est le coût cognitif de traiter ces éléments? Si seul le nombre d'éléments interactifs détermine la charge cognitive comme le prétend Sweller, alors il faut conclure que ni les particularités des informations relatives à une tâche, ni le détail des opérations mentales mises en œuvre pour la réaliser, n'influencent la charge cognitive. Outre le nombre d'informations, le nombre et la complexité des opérations jouent-ils un rôle dans la charge cognitive d'une tâche? Sweller demeure très évasif à ce sujet.

Le second sous-problème est de savoir ce qu'est un élément en MdT. La vision de ce qu'est un élément dans la TCC souffre elle-même de problèmes conceptuels, notamment une définition circulaire.

Le troisième sous-problème est l'usage imprécis du terme « charge cognitive » pour désigner parfois la charge mentale, parfois l'effort mental, et parfois les deux dimensions à la fois.

Je vais expliquer chacun de ces problèmes conceptuels dans les prochaines sections.

6.1.1. La contribution des opérations mentales à la CC

La TCC présente la CC comme un phénomène lié au traitement des informations en MdT. Ces informations sont représentées sous forme d'éléments, qui s'appuient sur des schémas en MLT. Plusieurs auteurs départagent les informations à traiter des opérations mentales de traitement de ces informations en mémoire de travail (Cowan, 2001; Gerjets et al., 2009; Beckmann, 2010). Sweller ne fait pas une distinction aussi claire lorsqu'il décrit la charge cognitive. Quelle est la vision de John Sweller du rôle de ces opérations mentales dans l'estimation de la CC? Considérant un même ensemble d'informations, mais auxquelles on applique des opérations différentes, la charge cognitive sera-t-elle la même? À la lecture des textes de Sweller, on a l'impression que la nature des opérations de traitement des informations est une question secondaire ou même inconséquente pour le calcul de la CC.

Sweller l'aborde indirectement, notamment avec certains effets de CCE, comme l'effet du problème résolu ou celui de non-spécification du but. Dans ces deux

effets, les informations générales du problème sont les mêmes que dans la version traditionnelle du problème à résoudre ; cependant, en évitant l'analyse moyens-fins, les opérations mentales réalisées sont différentes. Même quand les opérations mentales sont évoquées directement, comme quand il est question de la recherche d'états et d'opérations alternatives dans l'analyse moyens-fins, c'est le décompte des éléments d'information qui est réputé représenter la CC (voir par exemple Sweller, 2010b, p. 129). Pour évaluer la CC, Sweller ne s'attarde à toutes fins utiles qu'aux éléments d'information supplémentaires générés par l'analyse moyens-fins, sans accorder trop d'importance à la complexité qu'ajoutent les opérations mentales supplémentaires.

Un autre exemple donné par Sweller dans plusieurs articles illustre bien cette réduction des opérations mentales à un rôle mineur ou inconséquent. C'est l'exemple de la construction d'une phrase correcte dans une langue qui nous est étrangère que l'on est en train d'apprendre (voir par exemple Sweller, 1993, p. 6; Sweller et al., 1998, p. 260). Cet exemple sert traditionnellement à illustrer la CCI. Le vocabulaire d'une langue étrangère n'est pas réputé complexe à apprendre (faible CCI) ; par contre, la syntaxe est réputée complexe (forte CCI) parce qu'il faut considérer simultanément les idées que l'on veut exprimer, les mots qui y correspondent, les règles pour ordonner les mots correctement et celles pour modifier les mots comme les accords ou les déclinaisons. Sweller présente toutes ces règles comme des informations à considérer, des éléments interactifs d'information. Or, l'application d'une syntaxe correcte dans la construction d'une phrase dépend de nombreuses connaissances conditionnelles, donc de plusieurs règles ayant chacune des conditions à vérifier et des opérations à réaliser selon les conditions rencontrées. Il est réducteur de parler d'un vaste ensemble de règles de syntaxe comme s'il s'agissait d'un élément d'information ou de quelques éléments d'information, particulièrement chez le novice comme le suggère l'exemple.

À compter de la période 4, on ne trouve que peu de traces du rôle spécifique du traitement des informations dans la CC dans les textes de Sweller. Ces mentions sont toutes spécifiques à la CCE (voir par exemple Sweller et al., 1998, p. 259; van Merriënboer & Sweller, 2005, pp. 151, 167; Sweller et al., 2011, p. vii). Voici deux extraits qui l'illustrent bien :

« The cognitive load imposed on working memory by various instructional procedures originates from either the intrinsic nature of the instructional material, resulting in an intrinsic cognitive load, or from the

*manner in which the material is presented **and the activities required of learners**, resulting in an extraneous cognitive load. [accentuation ajoutée] » (Sweller et al., 2011, p. vii)*

*« Although both can be altered by instructional interventions, extraneous cognitive load **reflects the effort required to process poorly designed instruction** [...] [accentuation ajoutée]. »(Sweller et al., 1998, p. 259)*

Ces évocations au passage du rôle des opérations mentales dans la CC sont souvent ensuite ignorées dans le même texte lorsqu'il est question de déterminer la CC, en revenant à un décompte d'éléments d'information. Même quand les opérations mentales sont évoquées directement, comme quand il est question de la recherche d'états et d'opérations alternatives dans l'analyse moyens-fins, c'est le décompte des éléments d'information qui est réputé représenter la CC (voir par exemple Sweller, 2010b, pp. 124, 129; Sweller et al., 2011, pp. 66-67).

Il ne faut pas conclure que Sweller ne voit pas le rôle essentiel de traitement des informations de la MdT ainsi que des limites à cette capacité de traitement. Il met souvent de l'avant que la limite à la capacité de traitement de la MdT est très importante. Par exemple :

« [...] Most of us are intuitively aware of the storage limitations of working memory. [...] We may be less aware that if we have difficulty understanding an explanation or solving a difficult problem, that the reason is also due to the processing limitations of working memory. » (Sweller et al., 2011, p. 43)

L'enjeu n'est donc pas de reconnaître le rôle de la MdT dans le traitement des informations ou ses limites. L'enjeu est plutôt que Sweller ne considère pas la nature des traitements dans le calcul de la CC, malgré qu'il affirme lui-même que la nature des opérations en MdT influence la quantité d'information que l'on peut traiter.

*« We are likely to be able to process far fewer items of information than we can store, **depending on the nature of the processing**. We suggest that no more than two to three items of novel information can be processed by working memory at a given time. [accentuation ajoutée] » (Sweller et al., 2011, p. 43)*

Le paradoxe de cet extrait est que Sweller prône ensuite de calculer la CC à partir d'un simple décompte d'information qui ne tient pas compte des opérations en jeu sur ces informations. Par exemple, en référant à des études dont il est co-auteur, Sweller indique que : « [...] *the degree of element interactivity was estimated a priori by counting the number of elements that must be considered simultaneously by learners with a specific level of expertise in order to learn a particular procedure.* » (Sweller et al., 2011, p. 43)

Sweller définit donc la complexité d'une tâche et sa charge cognitive autour du seul nombre d'éléments interactifs en MdT – certains associés à la CCI, d'autres à la CCE. À compter de 2010 (Paas et al., 2010; Sweller, 2010b; Sweller et al., 2011; Sweller, 2023), Sweller se réfère régulièrement à Cowan (2001) pour situer la limite de capacité de la MdT à 4 ± 1 éléments, indiquant à quel point il suffit de peu d'éléments interactifs pour provoquer une surcharge cognitive.

Il y a une contradiction importante entre la façon dont Sweller présente le décompte des éléments interactifs en MdT et la façon dont Cowan décrit le fonctionnement de la MdT et ses limites de capacités. Sweller exclut les opérations mentales de son calcul de la complexité d'une tâche, laissant entendre que le traitement de l'information est exigeant pour la MdT sans considérer qu'il puisse y avoir des niveaux de complexité variables selon les opérations qui sont en jeu. Cowan explique pourtant que la capacité de la MdT est occupée tant par les données que par les opérations mentales qui traitent ces données, et que les opérations mentales spécifiques d'une tâche influencent sa complexité.

Cowan a même une position contraire à celle de Sweller sur l'origine de la complexité d'une tâche. Se référant à Halford et collègues (Graeme S. Halford, Wilson, & Phillips, 1998), Cowan suggère que la complexité se situe plutôt dans le nombre et la nature croisée ou non des *relations* entre les informations, plutôt que le nombre d'informations. Ces relations sont inextricablement liées aux opérations mentales qui constitueront le traitement des informations. Cowan parle de relations de complexité variable selon que les relations entre les éléments informationnels soient binaires, ternaires ou quaternaires.

La prochaine sous-section va expliquer les divergences entre la vision de Sweller et celle de Cowan.

6.1.1.1. Le rôle des opérations mentales en mémoire de travail selon Cowan

La mémoire de travail est un construit théorique complexe, difficile à étudier, et pour lequel il existe de nombreux modèles ayant des différences importantes (Shah & Miyake, 1999). Une discussion en profondeur des modèles de fonctionnement de la MdT dépasserait largement les besoins de la question de recherche du présent mémoire. Il est cependant important de comprendre les deux principaux modèles de MdT que Sweller cite, et plus particulièrement celui de Cowan à cause de ses implications pour le concept de charge cognitive. Bien que d'autres modèles de la MdT puissent permettre des critiques encore plus riches de la vision de Sweller (voir notamment Chanquoy et al., 2007, pp. 74-87; Horz & Schnotz, 2010; Schweppe & Rummer, 2015), je ne retiendrai ici que les modèles qu'il cite régulièrement.

Quels que soient les chercheurs cités par Sweller lorsqu'il parle de mémoire de travail, comme Miller (1956), Simon (1974), Baddeley (1992) ou Cowan (2001), et quelles que soient les périodes de développement de la TCC où il les cite, tous ces chercheurs ayant proposé des modèles de fonctionnement de la MdT la considèrent non pas uniquement comme un espace de stockage temporaire de l'information, mais aussi et même surtout comme un espace de *traitement* de l'information. C'est justement ce qui distingue fondamentalement le concept de mémoire de travail du concept de mémoire à court terme. Dans les périodes 1 à 3, John Sweller est d'ailleurs plus intéressé au traitement des informations qu'à leur nombre pour tenter de caractériser ce qu'est la charge cognitive (Owen & Sweller, 1985; Sweller & Cooper, 1985; Cooper & Sweller, 1987; Sweller, 1988; Owen & Sweller, 1989; Sweller, 1989, 1990b, 1990a; Sweller et al., 1990; Chandler & Sweller, 1991; Sweller & Chandler, 1991; Sweller & Low, 1992). Même dans son article qui marque le début de la période 4 (architecture cognitive et CCI entre 1993 et 1997) (Sweller, 1993), Sweller mentionne lui-même l'importance du rôle de traitement de l'information de la MdT dans la plupart des modèles de la MdT qui sont alors contemporains. Le glissement vers une emphase sur la quantité d'information en MdT dans la TCC se fait sans jamais expliquer les raisons pour lesquelles les opérations mentales sont mises de côté dans l'explication de la CC.

Lorsque Sweller introduit l'architecture cognitive dans la TCC au début de la période 4 de son développement (Sweller, 1993), il ne mentionne pas un modèle particulier de la MdT sur lequel il s'appuie. Il cite alors Miller (1956) pour évo-

quer une limite d'environ 7 éléments, et Simon (1974) qui suggère plutôt une limite de 5 éléments. Ce n'est qu'en 1998 (Sweller et al., 1998) qu'il réfère à un modèle spécifique, celui de Baddeley (A. Baddeley, 1992), car ce modèle lui permet d'expliquer l'effet de modalité par le recours à deux sous-processeurs spécialisés indépendants. Selon ce modèle, un exécutif central coordonne le focus attentionnel, les activités de deux sous-processeurs spécialisés, et fait l'intégration sémantique des informations (A. Baddeley, 1992; Schweppe & Rummer, 2014).

Le modèle de Baddeley offre peu de détails sur la nature des opérations de traitement de l'information en MdT. Il se concentre davantage sur la rétention d'information modale et sémantique et sur le contrôle attentionnel et la régulation de l'activation des éléments. Sweller semble avoir adopté cette approche dans sa propre conception de la MdT.

À compter de 2010, Sweller commencera à citer Cowan (2001) pour établir la limite de capacité de la MdT à 4 ± 1 éléments (Paas et al., 2010; Sweller, 2010a; Sweller et al., 2011, p. 42).

Comme cette limite de capacité est fondamentale dans la TCC et que Sweller l'établit à partir du modèle de Cowan, il convient de bien expliquer comment Cowan conçoit cette limite. Il apparaît à la lecture de Cowan que Sweller n'en a retenu que le chiffre magique de 4 ± 1 éléments, sans s'attarder à ce que sont les éléments en MdT selon Cowan. Or, Cowan estime que les éléments qui « comptent » dans l'utilisation de la capacité en MdT ne se limitent pas aux informations : ils incluent également les relations entre les informations, qui correspondent aux opérations mentales de traitement de ces informations. Cette dualité des éléments en MdT (informations ou opérations) est le fondement de plusieurs aspects de ma critique des concepts de CC qui suivra dans le reste du présent chapitre, et je vais donc l'expliquer plus en détails ici.

Cowan (2001, p. 113) explique qu'outre la capacité de rétention d'environ 4 éléments en MdT, il existe aussi une limite de capacité de traitement, qui se situe à une complexité maximale d'environ 4 dimensions ou relations distinctes entre des informations. Les relations croissent en complexité avec le nombre de relations entretenues entre plusieurs informations, les relations quaternaires étant plus complexes que les relations ternaires, et ces dernières étant plus complexes que les relations binaires. Pour Cowan, un élément d'information à traiter n'est pas seulement une information en MdT, c'est une information en relation avec autre chose : « *It is not chunks per se that have to be held in short-term*

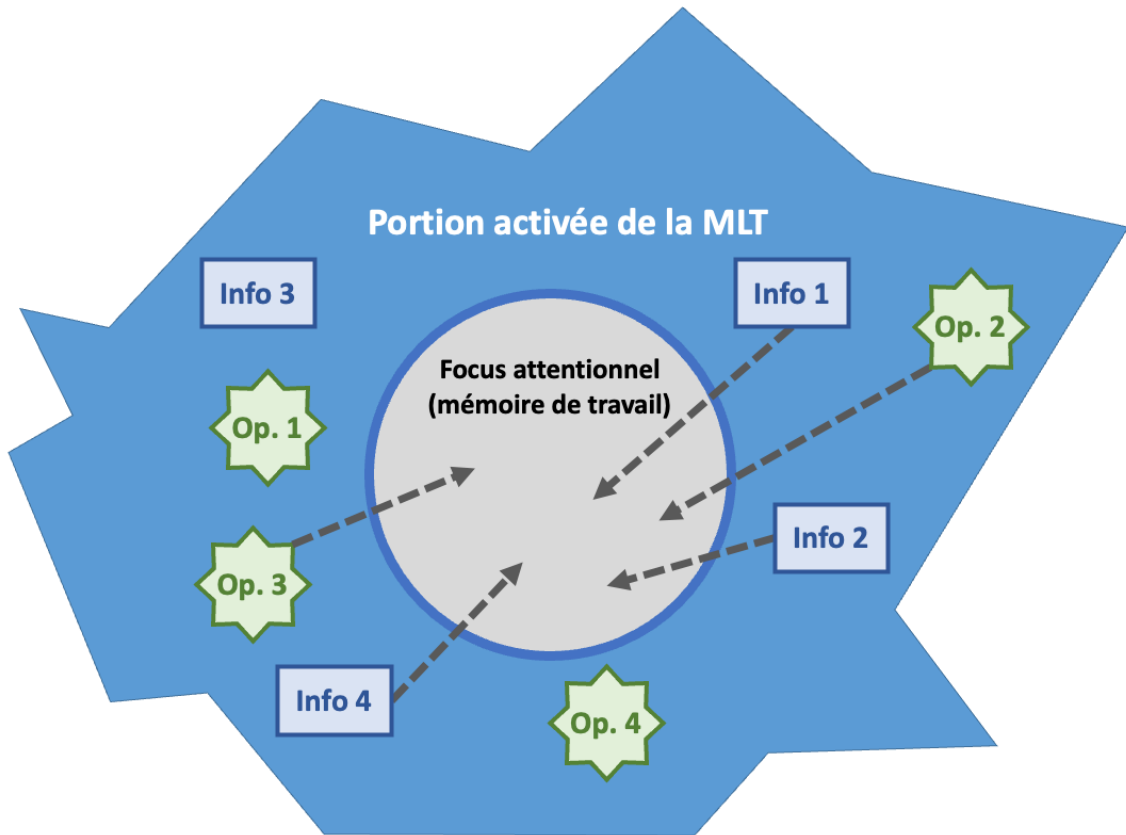
memory (as they in fact are part of long-term memory), but rather chunks in relation to some concept. » (Cowan, 2001, p. 113)

Les éléments et les opérations qui les mettent en relation doivent d'abord être activées depuis la MLT : ce sont des schémas qui passent en mode « prêt-à-utiliser ». Un schéma activé n'est pas forcément en mémoire de travail, mais il est « prêt » à entrer en mémoire de travail.

Selon Cowan, c'est lorsqu'un objet entre dans le focus attentionnel qu'il est en mémoire de travail. Dans son modèle, la mémoire de travail est le lieu de mise en relation des schémas activés depuis la MLT. La limite fondamentale de la MdT serait celle du focus attentionnel, qui ne peut considérer que 3 à 5 informations ou relations simultanément. Le reste des informations et des dimensions actives sont alors en périphérie du focus attentionnel, prêtes à y entrer pour de prochaines opérations. Les deux prochaines figures illustrent ce processus.

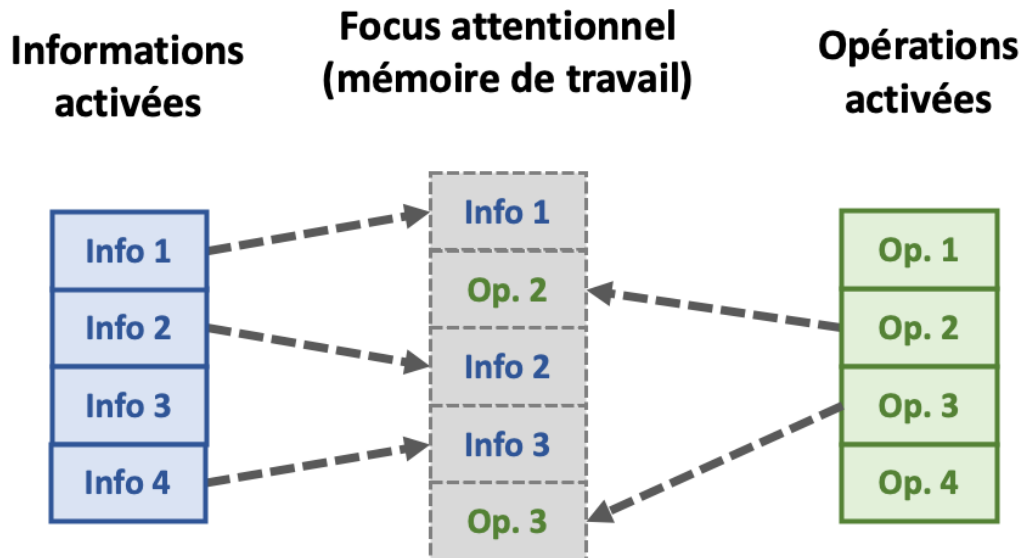
La figure 6.1 à la page suivante montre comment les informations et opérations mentales activés depuis la MLT entrent dans le focus attentionnel pour procéder au traitement des informations.

Figure 6.1 – L'entrée des informations et des opérations en MdT, inspiré et adapté de Cowan (2001, p. 95)



La figure 6.2 à la page suivante, illustre plus schématiquement les limites de capacité impliquées dans ce processus : plusieurs informations et opérations peuvent être activées simultanément, mais seulement 3 à 5 de celles-ci peuvent entrer dans le focus attentionnel à la fois; elles peuvent toutefois sortir pour laisser entrer d'autres informations ou opérations activées au cours de l'avancement dans la tâche.

Figure 6.2 – Représentation schématique des informations et opérations en MdT selon le modèle de Cowan (2010)



Il est important de préciser que Cowan ne croit pas qu'il y ait de limite quantitative à l'activation depuis la MLT; la limite quantitative est celle du focus attentionnel.

En somme, Cowan estime que tant les informations que les relations entre les informations occupent la MdT lorsqu'elles entrent dans le focus attentionnel, ce qui mène à une limite de capacité consolidée des informations et des opérations. Sweller tient plutôt un discours nébuleux où il parle de limites de capacités distinctes pour le stockage et le traitement, mais néanmoins interreliées, et toujours exprimées autour du nombre d'éléments d'information plutôt qu'en termes d'une combinaison du nombre d'éléments d'information et du nombre de relations ou d'opérations.

« [...] *working memory is used to process items where processing requires organising, combining, comparing or manipulating items of information in some manner. The only storage normally required of working memory is maintenance storage of, for example, intermediate products of cognitive operations. For this reason, working memory does have a storage function as well as its primary processing function.* » (Sweller et al., 2011, p. 43)

On voit dans cet extrait où Sweller parle d'opérations mentales spécifiques, ce qui est assez rare, qu'il estime que le traitement des informations et le stockage

en MdT sont deux fonctions distinctes, toutes deux limitées. Il y indique aussi que le rôle principal de la MdT est le traitement des informations. Dans une citation issue de la même page de texte que la citation ci-dessus, présentée précédemment dans la section 6.1.1 (Sweller et al., 2011, p. 43), où Sweller estimait que seulement deux ou trois informations peuvent être traitées simultanément, on pouvait déduire que Sweller croit que la capacité de stockage de la MdT diminue lorsque les exigences de traitement augmentent. C'est donc dire qu'il croit que la limite de capacité de stockage ne serait pas complètement indépendante de la nature des opérations mentales après tout. Peut-être est-ce parce que les opérations mentales consomment les mêmes ressources de MdT et sont donc soumises à la même limite de capacité globale que les informations?

6.1.1.2. Le rôle des opérations mentales dans la CC selon d'autres auteurs

Des auteurs ayant mené des travaux de recherche dans le cadre de la TCC distinguent également l'information des opérations mentales et estiment que les opérations mentales sont très importantes pour déterminer la CC.

Beckmann est l'un d'eux. Il fait une distinction entre capacité de rétention et capacité de traitement (Beckmann, 2010, p. 260). Comme Cowan, il attribue la complexité d'une tâche davantage aux exigences de traitement de l'information qu'à celles de rétention de l'information. Pour Beckmann, les limites de la capacité de traitement seraient peut-être plus étroites que les limites de la capacité de rétention, et joueraient un rôle bien plus important dans la CC. Sa conception de la complexité d'une tâche intègre à la fois les opérations et les informations. Il se réfère à Wood qui dit que : « *[...the] complexity of a task is the direct function of the number of distinct acts that need to be executed in the performance of the task and the number of distinct information cues that must be processed in performance of those tasks* ». (Wood, 1986, p. 66, cité dans Beckmann, 2010, p. 256)

Beckmann présente d'ailleurs une expérience fort intéressante qui démontre que la complexité des opérations est un meilleur prédicteur de performance à la tâche que le nombre d'éléments interactifs.

Il y compare deux indices de complexité : l'indice privilégié par la TCC qui est le nombre d'éléments interactifs, et un autre indice de complexité qui inclut les activités cognitives requises sur ces éléments interactifs. Dans son expérience, il détaille les activités cognitives distinctes de chaque sous-tâche de la tâche principale, comme en témoigne le tableau suivant :

Tableau 6.1 – Séquences d'opérations mentales d'une tâche cognitive (Beckmann, 2010, p. 256)

Table 1

Sequence of cognitive acts expected to be performed while solving a two-dimensional series completion item.

Step	Act	Explanation
<i>The first dimension (Subtask 1) is addressed by the following sequence of cognitive acts</i>		
1.0	Encoding	Identification that there are four figures that differ with regard to their colour and their shape. No two figures are identical, some share the same colour but not their shape at the same time, some share the same shape but not the colour at the same time, no two adjacent figures are of the same colour or of the same shape, respectively
1.1	Selective inhibition	Focus on one dimension: e.g., colour
1.2	Inference	Identification of regularities: e.g., colours alter between red and blue
1.3	Mapping	Application of the inferred rule: e.g., the last figure is blue therefore the next one has to be red
1.4	Storage	Storage of sub-result: e.g., red
<i>The second dimension (Subtask 2) is addressed by the following sequence of cognitive acts</i>		
2.1	Selective inhibition	Focus on one dimension: e.g., shape
2.2	Inference	Identification of regularities: e.g., shapes alter from star to square to circle
2.3	Mapping	Application of the inferred rule: e.g., the last figure is a star, therefore the next figure has to be a square
2.4	Recall	Retrieval of the result from the previous subtask: e.g., red
2.5	Synthesis	Combination of results from subtasks: e.g., red square
2.6	Storage	Storage of the results from subtasks: e.g., red square (if a three-dimensional item is to be solved)

Pour valider son hypothèse que la complexité d'une tâche, et donc sa charge cognitive, est une fonction à la fois des éléments interactifs et des opérations requises, l'expérience de Beckman évalue différentes versions d'une tâche pour lesquelles le nombre d'éléments interactifs est le même, mais le nombre d'activités cognitives est différent. Ses résultats confirment que les opérations comptent dans la complexité d'une tâche et dans sa charge cognitive.

Beckman estime que les effets de non-spécification du but et du problème résolu s'expliquent mieux par l'élimination d'une double-tâche, donc l'élimination d'opérations mentales, que par la réduction du nombre d'éléments à traiter, qui est bien réelle, mais serait une simple conséquence de l'élimination des opérations superflues. En appliquant ces effets, on élimine la tâche de résolution de problème, laissant ainsi toute la capacité de traitement disponible pour la tâche de construction de schémas.

Kalyuga, un chercheur proche de Sweller, et sa collègue Singh considèrent eux aussi que les éléments interactifs constituent seulement une partie de l'explication de la CC.

« However, theoretically, it might be difficult to describe the whole variety of cognitive processes in the learner's mind that could potentially contribute to working memory load involved in a specific learning task by using only the precisely identified interacting "elements of information" and relations between them (the traditionally considered source of cognitive load). It may still be only a part or simplified version of the overall cognitive activity that

comprises all the processes and operations occurring in learner working memory within some interval of time — a timescale of working memory operation—with the intent to achieve a specific goal.

*For example, such processes may include relating or mapping different representations on each other, blocking irrelevant information, organizing words and images, selecting or encoding their components, linking them together and integrating with prior knowledge (which also needs to be activated and represented in working memory), making necessary inferences to construct mental representations, making abstractions, etc. **Some of these processes are difficult (if possible at all) to describe in terms of clearly separated interacting elements of information.** [accentuations ajoutées] » (Kalyuga & Singh, 2016, p. 836)*

Kalyuga et Singh croient donc qu'un simple décompte d'éléments interactifs ne permet pas de décrire l'ensemble des processus qui constituent la charge sur la MdT. À leur avis, les processus cognitifs doivent être considérés en tenant compte de leur répartition dans le temps, et qu'il n'est pas toujours possible de départager clairement des éléments d'information interactifs distincts dans des processus complexes.

Les positions de Beckmann et de Kalyuga et Singh n'auraient pas contredit celle de Sweller dans les périodes 1 à 3. Ce n'est que dans les périodes subséquentes d'évolution de la TCC que Sweller abandonne l'étude des opérations mentales. Au contraire, les débuts de la TCC laissaient présager un rôle important pour le traitement des informations. L'approche contemporaine de l'évaluation de la CC par Sweller, basée uniquement sur un décompte des éléments d'information en MdT, est même à cet égard en rupture avec les origines de la TCC, où Sweller insistait sur les limites à la capacité de *traitement* cognitif (notamment lors de l'introduction de l'hypothèse de la charge cognitive dans Owen & Sweller, 1985). Sweller a d'ailleurs fondé la TCC sur deux expériences qui s'intéressaient directement au traitement des informations, incluant une simulation informatique aux résultats éloquents pour appuyer une explication de la CC fondée sur la complexité du traitement des informations (Sweller, 1988). Sweller croyait alors que la différence de charge cognitive entre les deux conditions expérimentales se remarquait surtout dans les différences sur le plan du traitement (*processing*). Ses résultats appuyaient fortement cette conclusion

(voir la section 5.4 sur la période 2 dans le chapitre précédent). Il mettait en lumière la complexité supplémentaire des enchaînements d'opérations, et le nombre supérieur de règles de production nécessaires pour réaliser une analyse moyens-fins réduite à sa plus simple expression, en comparaison d'une tâche équivalente qui évite l'analyse moyens-fins. Il posait aussi l'hypothèse que les sources de ce qui sera éventuellement nommé CCE peuvent représenter une tâche distincte de la tâche d'apprentissage, plaçant l'apprenant en situation de double-tâche. Une double-tâche suppose davantage d'informations et davantage de traitement à effectuer dans un contexte d'attention partagée.

En somme, l'aspect de la CC lié au traitement de l'information en MdT semble avoir été mis de côté au fil du développement de la théorie, pour se centrer uniquement sur les éléments d'information. Cette approche peut être utile dans certains contextes expérimentaux où le suivi des éléments d'information suffit à comparer différentes conditions, mais elle est incomplète sur le plan théorique. Le traitement des informations se réalise par le biais d'opérations mentales. Ce sont ces opérations mentales qui font interagir les éléments. On peut énumérer quantité d'opérations possibles sur des éléments interactifs, et de différents niveaux de complexité : ordonner, comparer, additionner, catégoriser, synthétiser, estimer, associer, etc. Sans opérations, il ne peut y avoir d'interaction entre éléments ni de traitement de l'information. Les opérations mentales contribuent donc nécessairement à la CC. Elles devraient être étudiées avec au moins autant d'attention que les informations qui font l'objet de ce traitement. L'évaluation de la CC par les éléments d'information représente en quelque sorte d'une approche par l'approximation. La prochaine sous-section élabore d'ailleurs sur les limites de cette approximation.

6.1.1.3. L'approximation de la CC par les éléments interactifs

Paradoxalement, bien que Sweller s'intéresse peu aux opérations mentales dans le calcul de la CC, il ne nie pas l'importance de la pression qu'exerce le traitement des informations sur la mémoire de travail. Mais il semble croire que la contribution des opérations mentales à la CC constitue en quelque sorte un coût cognitif fixe.

« The limitations of human working memory are both well-known and widely accepted. Working memory is capable of holding only about seven items or elements of information at a time (Miller, 1956). Furthermore, because working memory is most commonly used to process information in the sense of organizing, contrasting, comparing,

or working on that information in some manner, humans are probably only able to deal with two or three items of information simultaneously when required to process rather than merely hold information. Any interactions between elements held in working memory themselves require working memory capacity, reducing the number of elements that can be dealt with simultaneously.

[accentuation ajoutée] »(Sweller et al., 1998, p. 252)

Sweller reconnaît ainsi que les opérations de traitement des informations consomment des ressources de MdT, mais il leur attribue une forme de « coût global consolidé », sans chercher à savoir comment ce coût peut varier selon les particularités d'une tâche. Sweller écarte de son analyse les opérations ou les relations qui créent les interactions entre les éléments, en affirmant qu'elles sont déjà prises en considération dans la capacité de 3 à 5 éléments de la MdT, réduite par rapport à l'empan mnésique de 5 à 7 éléments proposé par Miller en 1957²⁵ pour la mémoire à court terme.

Cela ne signifie pas que l'approche prônée par Sweller est sans valeur. Elle a permis de découvrir et de valider de nombreux effets de CC. Elle peut probablement évaluer la plupart du temps la complexité *relative* de différentes tâches. Il est pertinent, bien que cela constitue une analyse incomplète, de s'appuyer sur les éléments d'information pour démontrer la pression qu'une tâche complexe exerce sur la MdT. Même sans étudier attentivement les opérations mentales qui composent une tâche, les éléments d'information qui sont traités donnent un aperçu du besoin en ressources de MdT.

Par exemple, une tâche qui implique le recours à l'analyse moyens-fins va nécessairement générer de nombreuses données intermédiaires au fil de la progression dans la tâche (e.g. les sous-buts à comparer entre eux et avec le but). Le décompte des données intermédiaires générées en cours de tâche suffit à démontrer que la CC d'une telle tâche est supérieure à celle d'une tâche qui

²⁵ Par ailleurs, cette attribution au coût cognitif du traitement de l'information pour passer du « chiffre magique » original de 7 ± 2 au « chiffre magique » contemporain de 4 ± 1 pourrait être erronée. Bachelder (2001, p. 116) estime plutôt que l'article de Miller (1956) démontrait déjà une capacité de 4 ± 1 , car le taux d'erreur de rappel augmente rapidement après le 4^e élément. Selon Bachelder, le nombre magique 7 de Miller correspond à un critère de succès de 50%, alors que le nombre magique 4 de Cowan correspond à un critère de 100%. De plus, Cowan explique comment la limite de capacité à 4 ± 1 a été démontrée après Miller notamment par de nombreuses expériences cognitives, par des recherches neurophysiologiques et par des modélisations mathématiques.

évite l'analyse moyens-fins. Ces données intermédiaires doivent être maintenues un certain temps et elles-mêmes traitées, mises en relation avec d'autres données, entraînant ainsi à leur tour des opérations intermédiaires. Le fait que les opérations supplémentaires génèrent souvent des données supplémentaires est probablement ce qui fait que le calcul des éléments interactifs pourrait constituer une bonne approximation de la charge cognitive dans plusieurs cas : la croissance des éléments et celle des opérations vont de pair.

Inversement, l'élimination d'activités cognitives s'accompagne souvent d'une réduction d'éléments tant par les éventuelles données en entrée qui sont retirées que par l'élimination de résultats intermédiaires. Prenons l'exemple de l'élimination de l'analyse moyens-fins par l'effet de non-spécification du but. Le but est éliminé comme donnée en entrée et n'a donc pas à être retenu en MdT ni à faire l'objet de traitement. Comme le problème sans but spécifié n'induit pas la comparaison entre plusieurs états intermédiaires, plusieurs états peuvent être « oubliés » au fur et à mesure de la progression dans la tâche sans impact sur la découverte de la solution ni sur l'apprentissage. Les opérations éliminées par cette stratégie sont celles de la détermination des sous-buts et celles qui consistent à comparer les états intermédiaires avec les sous-buts et avec le but. Les données intermédiaires qui ne sont plus générées lorsque ces traitements disparaissent sont les sous-buts ainsi que les écarts entre les états intermédiaires, les sous-buts, et le but. Ces données intermédiaires sont des éléments supplémentaires qui sont indissociables des opérations mentales qui les produisent.

Bref, si le décompte d'éléments augmente de façon concomitante avec les opérations mentales, les deux diminuent également de façon concomitante. Mais le décompte exclusif des éléments ne donne pas un portrait précis de la complexité globale de la tâche si les opérations mentales ne sont pas elles aussi énumérées, caractérisées et évaluées pour leur nombre et leur complexité.

Comparée à une tâche équivalente sans analyse moyens-fins, une tâche réalisée avec l'analyse moyens-fins, d'une part, peut entraîner des opérations supplémentaires de transformation de l'état problème et, d'autre part, entraîne nécessairement des opérations supplémentaires d'élaboration de sous-buts et de comparaison des états problèmes avec les sous-buts et avec le but. Ces opérations sont nombreuses. Dans le cas des comparaisons entre les états problèmes, les sous-buts et le but, elles impliquent de considérer simultanément des relations interdépendantes entre tous ces états. Quand Sweller parle du grand nombre d'éléments interactifs de l'analyse moyens-fins, il parle des états

du problème (état initial, états intermédiaires, but, sous-buts), des différences entre tous ces états, et des opérateurs à considérer pour passer d'un état à un autre (voir par exemple Sweller et al., 2011, p. 90). Il ne parle pas de l'impact sur la CC des opérations nombreuses et complexes liées à l'évaluation des différences entre tous ces états-problème. Même dans une tâche sans analyse-moyens fins, les opérations mentales sont nombreuses et parfois complexes. Pour chaque état problème, il faut sélectionner des opérateurs possibles, comparer les opérateurs retenus entre en fonction de l'état-problème pour en choisir un, et réaliser l'opération retenue. Ces activités génèrent également des données intermédiaires. Rien ne nous permet de conclure que la contribution de ces opérations à la CC totale est prise en considération en calculant le nombre d'éléments d'information, et Sweller ne les inclut pas directement décompte d'éléments interactifs.

Si les opérations mentales ne comptaient réellement pas dans la CC, alors toutes les tâches qui manipulent la même information sans encourir de CCE auraient exactement la même CCI et aussi la même CC totale (pour un même niveau d'expertise). Par exemple, toutes les tâches mathématiques qui manipulent exactement les mêmes nombres, seraient équivalentes sur le plan de la CC. Il serait étonnant que ce soit le cas.

Si l'on admet que les opérations mentales ont leur importance dans la CC, peut-on malgré tout prétendre que la CC peut se déterminer par un décompte d'éléments interactifs? Comment réconcilier la contradiction entre, d'une part, les propos de Sweller qui laissent entendre implicitement que les opérations mentales jouent un rôle dans la CC et, d'autre part, ceux qui laissent entendre qu'il n'est pas nécessaire d'identifier les opérations et d'en évaluer la contribution spécifique à la CC?

Une première explication possible est qu'un ensemble d'éléments d'information ne peut faire l'objet que d'une seule et unique tâche, qui représente une séquence d'opérations « obligée ». Cette explication ne tient pas la route sur le plan logique : il est évident qu'un ensemble d'information peut être traité de différentes façons selon la tâche à réaliser.

Une explication alternative est que toutes les séquences d'opérations possibles sur ces éléments sont équivalentes sur le plan de la charge cognitive. Cette deuxième possibilité ne tient pas non plus la route sur le plan logique : il est facile d'imaginer des tâches de complexité différente à réaliser à partir des mêmes informations de base.

En plus d'être illogiques, ces deux explications ont été invalidées par l'expérience de Beckmann. Par ailleurs, dès que l'on dépasse le stade des problèmes simples, plusieurs stratégies ou démarches de résolution correctes d'un même problème sont possibles. Certaines seront plus exigeantes, d'autres plus efficaces. Toutes ces variations se traduisent par un enchaînement différent des opérations mentales sur les mêmes éléments d'information interactifs, qui peuvent donc entraîner des coûts cognitifs différents ²⁶.

En ne calculant que les éléments d'information, les expériences faites dans le cadre théorique de la TCC réussissent quand même à estimer la différence de CC entre des conditions expérimentales, mais elles ne donnent pas un portrait complet de la CC « absolue » d'une tâche. Cette mesure relative suffit à démontrer les effets de CC, mais elle pose problème sur le plan théorique car elle délaisse tout un pan du fonctionnement de la mémoire de travail, qui pourtant est au cœur de la TCC. Les problèmes théoriques ont des incidences concrètes. Cela peut occasionner des difficultés d'interprétation des résultats empiriques, particulièrement dans les cas limites, et possiblement mener à des interprétations erronées (George, 1973). L'introduction du concept de CCP répondait justement à des résultats paradoxaux, mais ce concept a plus tard été redéfini d'une façon très différente de son sens initial. Une caractérisation opérationnelle complète et cohérente de la charge cognitive et de ses différents types aurait peut-être prévenu ce « détour théorique ».

Nous n'avons cependant pas la preuve directe de ces avantages à considérer plus directement les opérations mentales dans le calcul de la CC. L'approximation de la CC par le nombre d'éléments interactifs tient peut-être la route et suffit peut-être à bien expliquer les phénomènes de CC; nous l'ignorons par manque de recherche. Jamais Sweller n'exprime lui-même l'idée que les éléments interactifs représentent un indicateur général ou une approximation suffisante de la CC. Pour lui, les éléments interactifs *sont* la CC. L'idée que le décompte des éléments interactifs constitue une bonne approximation de la CC est une proposition pour réconcilier, d'une part, le peu de considération de Sweller de la nature des opérations mentales pour déterminer la CC avec, d'autre part, la grande importance qu'il accorde malgré tout au fait que les éléments fassent l'objet d'un traitement.

²⁶ Pour être juste, il faut mentionner que ces enchaînements différents génèrent potentiellement des éléments intermédiaires différents, changeant ainsi le décompte d'éléments interactifs purement informationnels.

Si toutefois nous devons accepter une forme d'approximation sans analyser la séquence précise des opérations mentales à réaliser, celle de Halford et ses collègues (Graeme S. Halford et al., 1998) qui consiste à établir la complexité des relations entre les informations – que Cowan (2001) a reprise à son compte – est peut-être plus précise. La complexité des relations entre les informations (binaires, ternaires ou quaternaires) apporte déjà une précision supplémentaire sur les relations qui font que les éléments sont interactifs, et elle a été vérifiée expérimentalement comme indice valide de complexité de tâche permettant de situer une limite de capacité de traitement. Les degrés d'interrelations sont peut-être même tout simplement une meilleure explication de ce que Sweller tente d'expliquer avec les éléments interactifs. En fait, la notion même d'interactivité entre les éléments a été initialement proposée par Sweller (Sweller, 1993) à partir d'articles co-rédigés par Halford en 1986 (Halford, Maybery, & Bain, 1986; Maybery, Bain, & Halford, 1986, cités dans Sweller, 1993, p.6). La notion d'éléments interactifs semble être une simplification des idées de Halford et de ses collègues, et probablement même une sur-simplification. Le fait que des éléments interagissent est important pour prédire la CC, mais cette information est insuffisante : la façon dont ils interagissent compte, ainsi que le degré auquel ils le font.

En somme, je propose que le décompte des éléments d'information interactifs qui définit la charge cognitive selon Sweller représente tout au plus un *indice* de la charge cognitive, une approximation. Cette approximation est peut-être suffisante pour comparer deux conditions expérimentales et déterminer laquelle impose une charge cognitive plus lourde. Mais cette mesure relative ne saurait donner un portrait précis de la charge cognitive réelle d'une tâche, et limite donc les interprétations qui peuvent être faites des résultats empiriques.

J'estime que pour broser un portrait fidèle de la CC d'une tâche, il faut une définition de la CC qui tienne compte des opérations mentales. Une telle définition devrait être facile à opérationnaliser pour mesurer plus précisément la CC dans les études empiriques, notamment par des techniques d'analyse de tâche cognitive. Brünken, Seufert et Paas (2010) proposent justement que la recherche sur la charge cognitive utilise davantage l'analyse de tâche cognitive. Plusieurs catégories de méthodes d'analyse de tâche cognitive existent (R. E. Clark, Feldon, van Merriënboer, Yates, & Early, 2008), et une diversité d'approches d'analyse pourraient être expérimentées et comparées. Sweller, en simulant l'activité possible par un système de règles de production dans son article de 1988, a utilisé un modèle formel qui est une forme d'analyse de tâche cognitive. Cette analyse

lui a permis de compiler de nombreux paramètres relatifs aux informations et aux opérations de deux versions d'une tâche. D'autres auteurs ont proposé des méthodes alternatives d'analyse de tâche cognitive dans le cadre théorique de la TCC (Gerjets et al., 2009; Beckmann, 2010). L'analyse de tâches cognitive est plus accessible avec des tâches relativement simples où la solution et la démarche sont uniques. Même avec des tâches très simples, elle apporterait un éclairage fort intéressant.

6.1.1.4. L'approximation par la CC totale plutôt que maximale

Il existe une deuxième forme d'approximation dans le simple calcul des éléments interactifs d'une tâche : celle de ne considérer que la CC totale, soit l'ensemble des éléments interactifs d'une tâche, sans tenir compte des moments où ces éléments entrent et sortent de la MdT tout au long de la tâche. La CC varie tout au long de la réalisation d'une tâche (Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003; Brünken, Seufert, et al., 2010). Dans une tâche complexe, tous les éléments n'interagissent pas toujours simultanément (Beckmann, 2010; Kalyuga & Singh, 2016). L'enchaînement des opérations mentales amène les éléments à être traités suivant une certaine séquence. Ils entrent et sortent de la MdT selon les opérations propres à chaque étape de la tâche. Certains doivent demeurer actifs ou rester dans le focus attentionnel plus longtemps que d'autres. Certains ne sont requis que pour une petite partie de la tâche et peuvent être oubliés par la suite. Certains sortent temporairement du focus attentionnel après y être entrés, pour y revenir à une prochaine étape de réalisation de la tâche.

Par exemple, dans l'analyse moyens-fins, au moment de comparer un sous-but avec le but, les autres éléments (états-problèmes, autres sous-buts) n'ont pas nécessairement toujours besoin d'être considérés. Ils n'interagissent avec les éléments en cours de traitement pas à ce moment précis. Dans le grand ensemble des éléments requis par la tâche, chaque opération va se concentrer sur un sous-ensemble.

La charge cognitive totale, soit celle de l'ensemble de la tâche, n'est donc pas nécessairement représentative de la charge cognitive maximale vécue lors des parties les plus exigeantes de la tâche. La charge cognitive maximale pourrait très bien être inférieure à la charge cognitive totale, parce que certains des éléments interactifs ne sont pas interactifs tout au long de la tâche.

Pourtant, Sweller le reconnaissait pendant la période 2, alors qu'il mesurait séparément l'utilisation moyenne de la MdT et son pic d'utilisation dans sa simulation informatisée (Sweller, 1988, p. 272), de même que dans la période 5, citant des travaux de Ayres (1993, cité dans Sweller et al., 1998, p. 273) qui démontrent que la CC dans l'analyse moyens-fins est la plus élevée lors du travail sur les sous-buts, car il s'agit du moment où il y a le plus d'information à considérer simultanément. Il est donc étonnant qu'il n'en tienne pas vraiment compte lorsqu'il prône un simple décompte global des éléments interactifs de la tâche, sans tenir compte de la distribution temporelle de ces interactions.

Cette question est très importante pour déterminer s'il y a surcharge cognitive ou non. Si la charge cognitive totale d'une tâche dépasse la capacité de MdT, mais que la charge cognitive maximale de cette tâche ne dépasse pas la capacité de MdT, il n'y aura pas de surcharge cognitive. La prochaine figure illustre ce type de situation.

Figure 6.3 – Évolution de la CC d'une tâche où les éléments n'interagissent pas tous simultanément

	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4	Étape 5	Étape 6	Étape 7
Capacité de MDT à 5 éléments				Élément 6		Élément 6	
		Élément 4		Élément 5		Élément 4	
	Élément 3	Élément 3	Élément 6	Élément 3	Élément 5	Élément 3	
	Élément 2	Élément 2	Élément 4	Élément 2	Élément 3	Élément 2	Élément 6
	Élément 1	Élément 1	Élément 1	Élément 1	Élément 2	Élément 1	Élément 5

Dans la figure précédente, la capacité de MdT a été établie à 5 éléments. Bien qu'il y ait 6 éléments interactifs en tout, il n'y a jamais plus que 5 éléments qui interagissent simultanément. Si le nombre d'éléments interactifs fait foi de la CC, il n'y aurait donc pas de surcharge, même si le nombre d'éléments total est plus grand que la capacité de MdT ²⁷.

Il s'agit d'une autre raison de réaliser des analyses a priori de tâche cognitive lors des recherches empiriques sur la CC. Des analyses détaillées permettraient

²⁷ Ironiquement, j'utilise ici l'approximation par les éléments interactifs en illustrant la CC uniquement par ceux-ci. Pour être parfaitement cohérent, il aurait fallu expliquer cette deuxième forme d'approximation en tenant compte des opérations mentales impliquées à chaque étape. Cela étant dit, je crois le recours à l'approximation du premier type est justifié, parce qu'il me permet d'expliquer plus simplement le deuxième type d'approximation. J'ai choisi délibérément cette simplification à des fins d'illustration et je ne prétends pas qu'elle représente la pleine complexité du phénomène.

d'anticiper l'évolution de la charge cognitive tout au long de la réalisation de la tâche et de situer les moments de charge maximale, leur ampleur, et leur durée, en tenant compte à la fois des éléments interactifs et des opérations mentales à chaque étape d'une tâche modélisée.

Puisqu'il est question de la distribution de la CC dans le temps, il est important de mentionner ici qu'une charge cognitive élevée pendant une longue période entraîne une certaine fatigue mentale, qui réduit temporairement la capacité de MdT (Chen et al., 2018; Leahy & Sweller, 2019; Chen & Kalyuga, 2021; Chen et al., 2021). Lorsque la CC totale ou moyenne sont élevées sur une longue durée, le seuil pour la surcharge pourrait diminuer, par réduction temporaire de capacité de MdT. Cet effet d'épuisement de la MdT, s'il n'est pas reconnu, pourrait donner l'illusion dans certaines expériences que la CC totale occasionne la surcharge plutôt que la CC maximale.

6.1.1.5. L'idée d'approximation chez d'autres chercheurs de la TCC

Je ne suis pas le premier à proposer l'idée que le décompte des éléments interactifs puisse ne représenter qu'une approximation de la CC. Kalyuga et Singh ont utilisé la même expression.

*« However, practically, the idea of element interactivity is probably the best **approximation** that we currently have to make some rough realistic estimates of cognitive load. This **approximation** obviously ignores some processes and operations involved, as well as the time-scale on which they occur, as **those are practically impossible to precisely describe and quantify**. [accentuations ajoutées] (Kalyuga & Singh, 2016, p. 837)*

On peut constater ici que, bien que Kaluyga et Singh considèrent eux aussi que l'évaluation de la CC par le décompte des éléments interactifs constitue une approximation, ils ne croient pas qu'il soit possible de faire mieux que cette approximation. Dans le reste de leur article, ils proposent pourtant des pistes pour tenir compte de plusieurs considérations et limites temporelles liées au traitement des informations en MdT dans l'analyse de la CC d'une tâche. Ils estiment qu'une notion d'intensité de traitement par unité de temps reflèterait peut-être mieux la CC, conceptuellement, que le décompte des éléments interactifs.

Au contraire de Kalyuga et Singh, je crois qu'il est opportun de tenter une analyse plus fine du déroulement des opérations en MdT. J'en prends pour preuve les analyses de tâches cognitives réalisées par Sweller (1988) et par Beckmann

(2010) dans le contexte spécifique de la TCC. Il existe un potentiel pour des avancées significatives, même si certains aspects ses processus cognitifs responsables de la CC pourraient demeurer mystérieux encore longtemps.

6.1.1.6. Un exemple d'approximation

Pour bien illustrer comment Sweller met de côté les aspects computationnels (opérations mentales) et temporels de la CC, analysons un exemple qu'il donne pour expliquer la charge cognitive d'une tâche. Voici une version récente d'un exemple qu'il a utilisé dans plusieurs articles.

« *When learning to solve the problem, $(a + b)/c = d$, solve for a , **we must process all of the elements simultaneously in working memory because they interact.** Element interactivity is high for anyone first learning algebra with **each of the symbols constituting a single element that must be processed simultaneously with all of the other symbols.** Furthermore, each time a change is made in the equation, the elements of the new equation must not only be processed simultaneously, to understand the change **the new set of elements must be compared with the previous set.** To learn how to solve a problem such as this, an enormous number of elements will need to be processed rendering this high element interactivity task very difficult. [accentuations ajoutées] » (Sweller, 2020b, p. 9)*

Premièrement, Sweller exprime clairement que les éléments doivent être *traités* en MdT, accordant ainsi une importance au traitement des informations.

Deuxièmement, il affirme que tous les éléments doivent être traités simultanément, une généralisation qui ne tient pas compte du déroulement des opérations mentales. Le problème se décompose en fait plutôt bien en sous-tâches, qui traitent seulement une partie des informations à la fois. Par exemple, pendant que l'on cherche à isoler la variable « a » dans l'équation, on commence par tenter d'identifier une autre variable facile à déplacer de l'autre côté de l'équation. On peut alors regarder chacune des lettres à gauche du signe d'égalité et évaluer si elle peut facilement passer du côté droit par une opération identique de chaque côté du signe d'égalité. Pendant cette recherche en séquence, toutes les variables ne sont pas en interaction. Je reviendrai ultérieurement sur l'importance de tenir compte de la temporalité de la CC.

Troisièmement, il mentionne exceptionnellement une opération spécifique, soit une comparaison, tout en ignorant complètement toutes les autres opérations

mentales de résolution de l'équation. Cette mention de la comparaison ne sert qu'à insister sur le fait que le sujet doit maintenir en MdT à la fois l'ensemble d'éléments de l'état actuel du problème, mais aussi ceux de l'état précédent. Ni le nombre ou la séquence d'opérations, ni la nature ou la complexité des relations entre les éléments, ni les spécificités des sous-tâches se semblent avoir d'importance pour Sweller pour estimer la CC.

On pourrait laisser le bénéfice du doute à Sweller et croire que cette description en surface de la charge cognitive d'une tâche de transformation algébrique ne sert que d'explication générale pour donner un aperçu du concept de charge cognitive, sans prétendre qu'elle le décrit en profondeur. Mais le fait est qu'il ne va pas plus loin dans ses explications dans le reste des articles dont il est auteur ou co-auteur et que ses autres explications tendent plutôt à confirmer qu'il voit cette explication simple comme une représentation adéquate du calcul de la CC.

6.1.1.7. Conclusion sur l'approximation de la CC par les éléments interactifs

En conclusion, l'évaluation de la CC par le nombre d'éléments interactifs d'une tâche ne représente pas adéquatement les processus de traitement de l'information en MdT. Ceux-ci sont trop complexes pour que leur évaluation se résume à ce simple décompte. Il peut cependant constituer une approximation intéressante pour comparer les CC relatives de deux tâches ou conditions. Des chercheurs pourraient faire le choix délibéré d'utiliser cette approximation parce qu'ils estiment qu'elle est suffisante dans le cadre spécifique de leur étude, tout étant conscients qu'il ne s'agit pas d'une mesure précise. L'estimation de complexité par les degrés de relations entre les éléments de Halford (Graeme S. Halford et al., 1998) constitue toutefois une piste plus intéressante à considérer, car elle est potentiellement plus précise sans demander une analyse complète des opérations mentales. Plutôt que de calculer un nombre d'éléments interactifs, il serait peut-être plus adéquat de s'intéresser aux interactions entre ces éléments et de compter leurs interrelations.

Considérer l'approximation par les éléments interactifs comme *la* mesure de la charge cognitive peut conduire à des erreurs d'interprétation des cas limites, notamment lorsque la prise en considération des opérations mentales changerait l'évaluation de la CC d'une tâche.

6.1.2. La nature des éléments interactifs en MdT

Si la TCC définit la CC en termes d'éléments interactifs, il importe de savoir ce qu'est un élément en MdT. Or, la TCC présente également des problèmes de conceptualisation des éléments.

D'abord, ils sont définis de façon floue ou circulaire, indiquant une conceptualisation déficiente.

Ensuite, il existe une ambiguïté à savoir s'ils représentent uniquement des informations ou s'ils représentent aussi des opérations mentales.

6.1.2.1. Les problèmes de conceptualisation des éléments dans la TCC

Sweller pose une relation étroite entre élément et schéma : un élément en MdT correspond forcément à un schéma en MLT, sinon il ne serait pas traité comme un élément unique, mais plutôt comme un ensemble d'éléments distincts. La définition d'un élément renvoie donc à celle d'un schéma. Les définitions de schéma et d'élément proposées par Sweller au fil du temps sont floues et difficiles à opérationnaliser. Par exemple, à la période 4, Sweller définit ainsi ce qu'est un schéma : « *A schema is a cognitive construct that organizes the elements of information according to the manner with which they will be dealt.* » (Sweller, 1994, p. 296)

La citation suivante donne une explication plus élaborée et plus récente de cette relation entre éléments et schémas selon Sweller :

*« Interacting elements are defined as elements that must be processed simultaneously in working memory because they are logically related. **An element is anything that needs to be learned or processed, or has been learned or processed.** Elements are characteristically schemas. Most schemas consist of sub-schemas or sub-elements. **Prior to a schema being acquired, those sub-elements must be treated as individual elements in working memory. After they have been incorporated into a schema, that schema can be treated as a single element in working memory.** [accentuations ajoutées] »* (Sweller et al., 2011, p. 58)

Cette explication permet de démontrer les problèmes de conceptualisation de ce qu'est un élément selon Sweller.

La première phrase indique que ce qui rend les éléments interactifs est le lien logique entre ceux-ci. C'est certainement le cas pour les éléments interactifs associés à la CCI, mais pas nécessairement pour ceux associés à la CCE. Les éléments associés à la CCE peuvent interagir parce que la conception du matériel ou de la tâche ajoute des informations ou des opérations à considérer obligatoirement pour compléter la tâche, sans que celles-ci ne soient logiquement liées au but poursuivi.

La deuxième phrase est la plus problématique. Si un élément est toute chose qui doit être apprise ou traitée, ou qui a été apprise ou traitée, alors tout est un élément, le connu comme l'inconnu. Comment peut-on distinguer ce qui est un élément de ce qui ne l'est pas, si tant ce qui a été appris que ce qui reste à apprendre sont des éléments? Cette explication ne tient pas la route. L'inconnu ne peut pas être un élément. Tant qu'une connaissance n'a pas été acquise par la formation d'un schéma, elle ne peut pas être un élément unique en MdT. Logiquement, le schéma doit précéder l'élément. Un élément est donc forcément quelque chose qui a déjà appris, et non quelque chose à apprendre.

Et c'est justement ce que Sweller explique dans les deux dernières phrases de la citation. C'est seulement après avoir formé un schéma que l'on peut cesser de percevoir ses composantes comme des éléments distincts en MdT. On peut alors percevoir alors l'ensemble comme un élément unique. Cette partie de la citation est logique, mais elle contredit la deuxième phrase. L'explication globale des éléments et des schémas n'est donc pas cohérente.

En résumé : 1) Sweller amalgame le lien logique entre les éléments associés à la CCI avec le lien artificiel des éléments associés à la CCE et 2) il utilise les termes « schéma » et « élément » comme des termes interchangeables; ils ne le sont pas. La relation étroite entre schéma et élément est unidirectionnelle : le schéma crée l'élément. C'est le schéma qui doit être acquis, et non l'élément, qui est un résultat de l'acquisition du schéma.

6.1.2.2. Les opérations mentales sont-elles des éléments en MdT?

Nous avons vu dans une section précédente que le traitement de l'information se fait à travers des opérations mentales. Nous avons aussi vu que Cowan considère que les relations entre les informations, que nous pouvons associer aux opérations mentales, occupent de l'espace en MdT et contribuent donc à l'atteinte de sa limite de capacité. Si les opérations mentales contribuent à « l'occupation » de la MdT, c'est qu'elles sont elles-mêmes des éléments. Si tel est le

cas, le décompte des éléments interactifs pourrait inclure les opérations mentales à titre d'éléments. Ce décompte serait toujours une approximation de la CC car il ne tiendrait pas compte de la nature ou de la complexité des opérations ou relations entre éléments (binaires, ternaires, etc.), mais il au moins il tiendrait compte de leur nombre.

Un des angles étudiés dans l'analyse conceptuelle est de savoir si Sweller considère implicitement les opérations mentales comme des éléments interactifs. Comme pour plusieurs autres concepts, il n'a pas été possible de trouver de réponse directe. Les indices que l'on peut identifier sont contradictoires. Ils expriment toutefois une tendance claire. En effet, bien que certains indices laissent supposer, implicitement, que Sweller considère que les opérations sont des éléments, cela ne se reflète pas dans son discours explicite. Les propositions explicites et explications que l'on trouve dans ses textes vont plutôt dans le sens inverse.

Un premier indice que les opérations mentales peuvent être des éléments pour Sweller se trouve dans les explications de la CCE et dans les exemples que Sweller utilise pour la décrire. La CCE est associée à des processus mentaux superflus ou interférents avec l'apprentissage (la façon dont on présente l'information ou dont on conçoit la tâche) plutôt qu'à l'information elle-même. Mais cette interprétation est contredite chaque fois où il s'arrête à énumérer des éléments d'informations superflus pour décrire la CCE d'une tâche.

Un deuxième indice que les opérations mentales peuvent être des éléments dans la TCC se trouve dans la description que Sweller fait du rôle des schémas dans les habiletés cognitives. À partir de la période 4, où il introduit l'architecture cognitive dans la TCC, Sweller explique dans chaque nouvelle présentation de la TCC que les habiletés cognitives reposent sur l'acquisition de schémas. Ces habiletés se traduisent par la capacité à réaliser des opérations mentales.

Sweller explique à quelques reprises que les schémas ne sont pas que des ensembles d'informations traitées et organisées; ils incluent aussi les règles de production qui effectuent le traitement des informations (van Merriënboer & Sweller, 2005, p. 167). Par exemple, dans cet extrait, Sweller affirme que les règles de résolution de problèmes sont des schémas : « [...] *the problem-solving rules (which are indistinguishable from schemas as the term is used in this paper) [...]* ». (Sweller et al., 1998, p. 257). Plus loin sur la même page, il dit que les schémas sont des exemples de règles sophistiquées et qu'ils deviennent

probablement automatisés exactement comme les règles de résolution de problèmes.²⁸

Justement, dans certains exemples qu'il utilise dans ses articles pour illustrer les concepts de la TCC, Sweller décrit des opérations à apprendre plutôt que des informations. Un exemple récent, reproduit ci-dessous, nous indique que les opérations font partie des apprentissages attendus, et donc des schémas à acquérir. Il n'y a qu'un pas à franchir pour affirmer que ces opérations seront éventuellement des éléments en MdT.

« We may use means-ends analysis to attempt to solve any novel mathematics problem that we face but if we have learned to solve a particular class of algebra problems such as $a/b = c$, solve for a, by multiplying out the denominator on the left-hand side, then we have acquired a domain-specific skill that is limited to a particular class of algebra problem. [accentuation ajoutée] » (Sweller, 2020b, p. 1)

L'apprentissage attendu dans cet exemple, qui génère la CCI de la tâche, inclut non seulement une représentation intégrée d'informations en un élément unique, mais aussi des opérations mathématiques. Il en va de même de l'exemple cité précédemment autour de l'application de règles de syntaxe pour construire une phrase : il s'agit de l'apprentissage d'activités mentales qui incluent à la fois des informations intégrées et des opérations. Et pourtant, la CCI est le type de CC pour lequel Sweller est le plus constant quant au fait qu'il s'agisse d'éléments d'information. Il définit la CCI en termes des informations à apprendre, et ce sans jamais faire directement référence aux opérations mentales dans sa définition actuelle de la CCI. En voici deux exemples :

« Some of the working memory load is imposed by the intrinsic nature of the information and that load is called 'intrinsic cognitive load'. It is imposed by the basic structure of the information that the learner needs to acquire for achieving learning goals irrespective of the instructional procedures used. » (Sweller et al., 2011, p. 57)

²⁸ Sweller semble référer à la théorie ACT-R d'Anderson sans la nommer et sans non plus tenir compte de tous les aspects pertinents de cette théorie. Un peu comme il l'a fait avec les éléments interactifs qu'il a puisés chez Halford en omettant des détails importants, et comme il semble l'avoir fait aussi pour situer la capacité de MdT à 4 ± 1 , qu'il a puisée chez Cowan en ignorant les caractéristiques de son modèle de MdT.

« Intrinsic cognitive load is determined by the intrinsic properties of the information being processed. » (Sweller, 2020a, p. 9)

Il s'agit peut-être d'une contradiction dont Sweller n'a pas conscience. Une interprétation plus charitable serait que Sweller considère la notion d'information dans un sens très large qui inclut des opérations mentales. S'il emploie effectivement le terme « information » dans un sens aussi large, l'imprécision du terme entraîne beaucoup de confusion sur la nature exacte des éléments et de la CC. En affirmant que le calcul de la CC se fait par le décompte d'éléments d'information en MdT, sans préciser si les activités mentales sont des éléments d'information à intégrer au décompte, Sweller laisse place à des interprétations multiples.

Un autre exemple du rôle de traitement de l'information des schémas dans la TCC se retrouve dans la proposition de Sweller selon laquelle l'exécutif central de la MdT serait constitué des schémas en MLT (notamment dans Sweller, 2003; Sweller, 2004). L'exécutif central coordonne la sélection et le traitement de l'information : le focus attentionnel, l'activation des schémas pertinents en MLT, les activités des sous-processeurs, et fait l'intégration sémantique des informations (A. Baddeley, 1992; Cowan, 2001; Horz & Schnotz, 2010; Schweppe & Rummer, 2014). Les schémas qui guident ces fonctions exécutives incluent forcément des opérations mentales complexes.

Il est donc clair qu'un élément peut porter en lui des opérations mentales propres à l'information qu'il contient. Par exemple, si j'ai un schéma qui me permet de résoudre en une seule opération l'isolation d'une variable dans une équation de la forme $a/b=c$, la simple reconnaissance de cette forme d'équation active les modèles de solution pour isoler la variable a et la variable b . Selon qu'il faille isoler a ou b , je n'aurai donc qu'un élément en MdT grâce à un schéma sophistiqué. Appelons ce cas les opérations « intra-éléments ». Dans cette interprétation, le décompte des éléments interactifs inclut donc nécessairement les opérations intra-éléments.

Par contre, toutes les opérations ne sont pas intra-éléments. L'établissement de nouvelles relations entre des éléments pour créer de nouvelles représentations qui vont enrichir les schémas est la base de l'apprentissage dans la TCC. Cette mise en relation repose sur des opérations mentales qui lient les éléments « informationnels ». Appelons-les les opérations inter-éléments. Par exemple, lorsque l'on additionne deux grands nombres pour lesquels on ne connaît pas la réponse, on décompose le problème en parties : on additionne en séquence des

sous-ensembles correspondant aux unités, dizaines, centaines..., pour ensuite produire la réponse finale en recomposant ces résultats partiels. Chacune de ces additions distinctes constitue une opération qui repose sur un schéma d'addition de nombre à un ou deux chiffres. L'assemblage des sous-résultats pour composer le résultat final repose elle aussi sur un schéma où l'on répète une même opération à quelques reprises. Puisque les schémas sont le modèle des éléments en MdT, ces opérations inter-éléments basées sur des schémas devraient logiquement constituer des éléments elles aussi.

En suivant ces inférences basées sur la lecture des textes de Sweller, on peut conclure à l'existence de deux grands types d'éléments : des éléments principalement informationnels, que l'on peut assimiler à des connaissances déclaratives, et des éléments principalement « computationnels », que l'on peut assimiler à des connaissances procédurales ou conditionnelles. En réalité, les éléments sont pour la plupart mixtes, avec une prédominance informationnelle ou « computationnelle » à proportion variable, selon le cas.

En somme, on peut inférer que Sweller considère que les éléments d'information incluent des opérations mentales internes ou opérations intra-éléments. Cette inférence comporte un degré d'incertitude, puisque Sweller ne l'affirme jamais directement. L'ambiguïté entretenue par Sweller à ce sujet contribue aux problèmes conceptuels du concept de charge cognitive, car la nature des éléments en MdT reste ambiguë, ce qui occasionne des difficultés d'interprétation à la fois sur le plan théorique et pour les résultats empiriques d'expériences menées dans le cadre de la TCC.

En revanche, rien ne permet de conclure que Sweller considère les opérations inter-éléments comme des éléments en soi, même si elles sont réalisées grâce à des schémas. Il est plus plausible que Sweller considère que les éléments interactifs selon la TCC sont essentiellement informationnels, même s'ils incluent parfois une portion computationnelle interne (opérations intra-éléments). Le flou entourant la question des opérations inter-éléments est étonnant considérant qu'il s'agit en quelque sorte du cœur de la TCC : la charge causée par le traitement d'éléments interactifs en mémoire de travail. Si Sweller estimait que les opérations mentales inter-éléments sont également des éléments en MdT, il est difficile de concevoir qu'il ne proposerait pas de les inclure dans le décompte. Or, il ne le fait pas.

En conclusion, ce que nous pouvons comprendre de la conception de Sweller des éléments interactifs en MdT ne permet pas de croire que les éléments interagissent l'ensemble des opérations mentales d'une tâche selon lui.

6.1.3. Confusion entre charge mentale et effort mental

Dans l'article marquant le début de la période 5, Sweller et des collègues (Sweller et al., 1998) présentaient ce qu'ils ont nommé les trois dimensions de la CC : la charge mentale (les exigences de la tâche), l'effort mental (les ressources consacrées par le sujet pendant qu'il réalise la tâche), et la performance à la tâche. Ces dimensions ne sont mentionnées que certains des articles théoriques subséquents qu'il co-signe avec Jeroen van Merriënboer (van Merriënboer & Sweller, 2005), l'un des co-auteurs de l'article mentionné au début du paragraphe. Lorsqu'il parle de CC par la suite sans van Merriënboer, il en parle le plus souvent d'une façon qui évoque surtout la dimension de charge mentale, sans la nommer ainsi. Parfois, il en parle en termes de ce qui est mesuré dans certaines études avec l'échelle de Paas et qui correspond plutôt à l'effort mental.

La plupart du temps, le terme générique « charge cognitive » convient très bien à la discussion, et la distinction plus fine entre les demandes de ressources d'une tâche et les ressources réellement allouées par l'apprenant n'est pas nécessaire. Lorsqu'il est utile de faire cette distinction, l'utilisation des termes charge mentale et effort mental devrait être systématique afin d'assurer l'interprétation adéquate du propos.

Puisque les termes de charge mentale et d'effort mental ont déjà été introduits dans la TCC, il serait plus précis que dans les cas où il est opportun de distinguer entre les dimensions de la charge cognitive, on ait recours à ces termes.

6.1.4. Conclusion sur la nature de la charge cognitive

L'explication de la charge cognitive dans les textes de John Sweller s'appuie exclusivement sur le décompte des éléments interactifs en MdT. La conception qu'a Sweller des éléments interactifs ne semble pas inclure les opérations mentales qui font interagir les éléments en MdT. Les opérations mentales ne sont donc pas entièrement considérées dans l'évaluation de la CC. D'autres auteurs considèrent que les opérations mentales jouent un rôle important dans la CC, et que celle-ci varie tout au long d'une tâche. L'évaluation de la CC par le décompte des éléments interactifs tel que le propose Sweller ne permet donc d'ar-

river qu'à une approximation de la CC. L'approximation est probablement suffisante la plupart du temps pour évaluer la CC relative entre deux tâches, mais elle ne rend pas adéquatement compte du phénomène complet et peut entraîner des erreurs d'interprétation de résultats empiriques dans certains cas.

6.2. Confusion entre l'effet de la CCE et l'effet de la surcharge cognitive

Nous avons vu dans l'analyse historique que le concept de surcharge cognitive prend son origine dans le concept initial de « lourde charge cognitive », proposé pour la première fois en 1985 par Owen et Sweller. La lourde charge cognitive de 1985 s'est progressivement différenciée en trois concepts distincts : la charge cognitive, la charge cognitive inutile, et la surcharge cognitive.

Malgré la différenciation des trois concepts, dans des textes postérieurs à cette différenciation, Sweller confond encore régulièrement les effets de la charge cognitive inutile, qui augmente la CC totale sans contribuer aux apprentissages, et ceux de la surcharge cognitive, qui prévient le traitement de l'ensemble des éléments interactifs. L'effet d'interactivité entre les éléments démontre bien qu'en l'absence d'une forte CCI, la CCE n'entrave pas l'apprentissage. Si la CCE était la cause directe des déficits d'apprentissage observés dans les effets associés à la CCE, elle causerait ces entraves même avec une CCI faible. Or, ce n'est pas le cas. Puisque la CCE est sans effet sur l'apprentissage en l'absence de surcharge, on doit conclure que ce n'est pas la CCE qui réduit l'apprentissage, mais bien la surcharge cognitive.

Cette confusion entre l'effet de la CCE et l'effet de la surcharge remonte à l'origine de la TCC : dans les premières expériences, en présence de CCE, il y avait également surcharge. En réduisant la CCE, on observait de meilleurs apprentissages. Les effets de la surcharge de la MdT sur l'apprentissage ont donc été associés à la CCE. Aux débuts de la TCC, il était normal de conclure que c'était la CCE qui entravait l'apprentissage. Mais avec la découverte de l'effet d'interactivité entre les éléments, l'attribution causale aurait dû basculer complètement vers la surcharge cognitive. Les concepts différenciés permettent maintenant de bien départager le rôle de chacun des maillons de la chaîne causale des phénomènes de charge cognitive.

Et pourtant, Sweller attribue régulièrement la réduction des apprentissages dans les effets de CCE à la CCE elle-même plutôt qu'au dépassement de capacité

de la MdT que la CCE occasionne. Et ce, malgré qu'il explique également l'importance d'éviter la surcharge cognitive. Cette erreur d'attribution en est soit un problème conceptuel dans la TCC.

De plus, l'attribution des déficits d'apprentissage à la CCE plutôt qu'à la surcharge cognitive est à l'origine d'une critique de la TCC faite par plusieurs chercheurs qui estiment que les concepts de CCE et de CCI sont mal définis, souvent incohérents, et tautologiques à cause d'explications post-hoc. Les types de charge observés empiriquement sont déduits ou réinterprétés *a posteriori* selon les résultats des expériences plutôt que par une analyse *a priori*. Cette façon de déterminer le type de CC rend ces concepts infalsifiables : si l'apprentissage a été entravé, alors on considère qu'il y avait charge inutile, alors que s'il n'a pas été entravé, on considère qu'il n'y avait pas ou peu de CCE. Pour expliquer l'effet d'interventions sur la CC, les types de CC en jeu doivent être déterminés indépendamment de la performance qui en résulte (Schnotz & Kürschner, 2007, p. 496).

Ces rationalisations post-hoc excluent d'emblée la possibilité qu'une CCI trop élevée puisse être la cause d'effets négatifs sur l'apprentissage. Sweller considère que s'il y a réduction d'apprentissage, il y a nécessairement présence de CCE pour expliquer cette surcharge. Il ne considère pas que la CCI puisse provoquer de surcharge cognitive. Les éléments dépassant la capacité de la MdT sont automatiquement considérés comme de la CCE. Sweller n'affirme pas directement que la CCI ne peut pas provoquer de surcharge. Il s'agit d'une notion implicite que l'on découvre en lisant son interprétation des cas où une connaissance est trop complexe pour être acquise au niveau d'expertise des apprenants.

On pourrait justifier de désigner comme CCE toute CC excédentaire, sans égard à sa nature, par le fait qu'il s'agit d'une CC qui ne contribue pas aux apprentissages attendus. Il s'agit toutefois d'un leurre conceptuel car, à la différence des autres cas de CCE, si une surcharge survient par excès de CCI, celle-ci n'est pas en soi inutile aux apprentissages. Si elle pouvait être traitée, elle contribuerait aux apprentissages. Le fait d'avoir trop d'éléments devant être appris ne devrait pas changer leur caractère d'intrinsèque à inutile. Comment devrait-on alors déterminer lesquels sont excédentaires, et donc inutiles? Est-ce que tous les apprenants en surcharge conservent et écartent exactement les mêmes éléments de leur MdT? Dès lors qu'ils n'écartent pas tous les mêmes éléments en situation de surcharge, on ne peut pas identifier lesquels sont inutiles. À moins

que ce jugement ne soit porté sur une base individuelle, apprenant par apprenant? Cela nous mène à un paradoxe où tous les éléments pourraient potentiellement être réputés inutiles pour au moins une personne. Ces questions et leurs réponses révèlent l'impasse conceptuelle de considérer que tout dépassement de la capacité de MdT entraîne de facto la conclusion de présence de CCE. Chaque élément ou opération devrait être désigné comme intrinsèque ou inutile uniquement en fonction de s'il fait partie des apprentissages attendus.

A contrario, dans tous les autres cas, la CCE ne contribuerait pas aux apprentissages, même en l'absence de surcharge car il s'agit réellement de charge inutile, *sans égard à la capacité de la traiter*. S'il y a CCE sans surcharge, il y aura apprentissage.

La prochaine citation est un exemple de cet amalgame entre une charge excédentaire et la CCE.

« *The imagination effect has many of the characteristics of other cognitive load effects discussed above. Apart from only occurring under conditions of high element interactivity, the expertise reversal effect can be demonstrated using imagination instructions. The effect only occurs when learners are able to process interacting elements in working memory and that ability requires sufficient levels of expertise to enable the requisite processing. Until those levels are attained, studying is superior to imagining. Thus, for novices, imagining acts as an extraneous cognitive load while for more expert learners, studying material that no longer requires study acts as an extraneous cognitive load.* [accentuation ajoutée] » (Sweller, 2010b, p. 135)

L'effet d'imagination ne concerne que de la matière à apprendre et les activités cognitives des novices et des experts y seraient les mêmes si les novices pouvaient rehausser artificiellement leur capacité de MdT. C'est par manque d'expertise que la CCI est trop lourde chez les novices, et non parce que des processus inutiles ont lieu en MdT ²⁹. Ironiquement, nous avons affaire à une lourde charge cognitive *intrinsèque*, alors que l'expression originale de 1985 « lourde charge cognitive » est demeurée associée à la CCE et à la surcharge cognitive. La dernière partie de la dernière phrase mentionne que l'étude génère de la CCE chez les experts, au contraire des novices. Dans ce cas, l'explication

²⁹ Il serait intéressant de voir si l'application chez les novices d'un effet molaire-modulaire ou d'un effet des éléments interactifs isolés à même l'effet d'imagination réussirait à prévenir la surcharge cognitive.

tient la route car les experts ont des processus mentaux inutiles liés à l'effet de redondance lorsqu'on leur impose des méthodes qui sont mieux adaptées aux novices.

Sweller n'est pas seul à considérer que la portion de la CC qui dépasse la capacité de MdT est nécessairement de la CCE. Certains de ses critiques considèrent eux aussi que si le nombre d'éléments interactifs dépasse la capacité de MdT, alors les éléments excédentaires doivent être considérés comme des éléments inutiles pour ce niveau d'expertise (Schnotz & Kürschner, 2007; de Jong, 2010). Pourtant, les effets de CCI tels que l'effet des éléments interactifs pris isolément ou l'effet molaire-modulaire démontrent que dans certains cas où la CCI dépasse la capacité de MdT, des ajustements à la tâche permettent de distribuer la CCI dans une séquence de sous-tâches qui prévient la surcharge.

Sweller l'évoque lui-même dans l'extrait suivant, pour ensuite revenir à l'idée que la CCE doit être réduite pour favoriser l'apprentissage :

« Although [a simple-to-complex ordering of problems] prevents cognitive overload—an important consideration under very high intrinsic cognitive load conditions—it neither decreases extraneous cognitive load nor increases germane cognitive load. Cognitive load theory predicts more effective learning if problem formats are used that decrease extraneous cognitive load [...]. [accentuations ajoutées] » (Sweller et al., 1998, p. 289) ³⁰

Le premier passage accentué illustre que Sweller reconnaît que les effets de CCI comme l'effet molaire-modulaire et l'effet des éléments interactifs isolés préviennent la surcharge cognitive. Et pourtant, il ne considère pas la CCI comme une source de surcharge ou comme une entrave à l'apprentissage quand il explique la TCC et les types de CC. Les deux autres passages accentués témoignent de sa conviction que si la CCE n'est pas réduite en plus d'avoir géré la CCI, il n'y aura pas de gains pour l'apprentissage... alors qu'il vient tout juste de reconnaître quelques lignes plus tôt que la CCI peut provoquer une surcharge si elle est trop élevée, ce qui devrait en principe entraver l'apprentissage.

³⁰ Un extrait un peu plus long qui contenait cette même citation a déjà été présenté à la section 5.7.1.5 pour appuyer une explication relative à la CCP. Il est pertinent de reprendre cet extrait ici car il illustre également 1) la confusion entre l'effet de la surcharge et celui de la CCE, et 2) le fait que Sweller écarte la CCI comme source potentielle de surcharge cognitive.

L'erreur d'attribution des effets de la surcharge a également une conséquence plus pratique : elle risque de guider vers des interventions inadaptées. En posant le mauvais diagnostic sur une situation de surcharge, les mesures correctives risquent de ne pas être appropriées. Les techniques de réduction de la CCE et celles de gestion de la CCI sont différentes. Dans certains cas, la solution pourrait être de réviser des cibles d'apprentissage trop ambitieuses pour le niveau d'expertise des apprenants, ou d'établir une séquence plus progressive.

Pour assurer la cohérence interne de la TCC, le type de charge ne devrait pas être déterminé par le fait que la capacité de MdT soit dépassée ou non. Le type de charge devrait toujours être déterminé uniquement par sa nature même : la CCE ne devrait référer qu'au traitement d'information qui ne contribue pas aux apprentissages visés, et la CCI ne devrait référer qu'au traitement d'information qui contribue aux apprentissages visés. En d'autres termes, la CCE et la CCI sont des concepts qui réfèrent à la nature des éléments et des opérations mentales ainsi qu'à leur contribution aux apprentissages visés. Elles devraient se déterminer exclusivement cette base qualitative, avant de pouvoir être quantifiées. La surcharge cognitive est un autre concept qui relève d'une appréciation exclusivement quantitative de la CC : la tâche génère-t-elle plus de CC que la capacité de la MdT ou non?

Si le caractère intrinsèque de la CCI est déterminé uniquement par le fait qu'elle contribue aux apprentissages attendus, l'éventuel dépassement de la capacité de MdT ne changera pas son type. En présence d'une tâche à forte CCI, des techniques de prévention de la surcharge existent pour rendre la tâche plus accessible sans changer ce qui est appris. Par exemple, décomposer la tâche en sous-tâches plus simples, proposer des aide-mémoires ou d'autres moyens d'étayage, etc.

Il demeure essentiel pour l'apprentissage d'éviter la surcharge, même dans les cas où la surcharge serait occasionnée exclusivement par des activités mentales qui correspondent aux apprentissages attendus. Si la tâche ne peut être modifiée pour éviter la surcharge sans changer ce qui est appris, il convient alors de simplifier la tâche d'une façon qui réduit ce qui est appris et de situer cette tâche simplifiée dans une séquence de tâches de complexité croissante qui mène progressivement aux apprentissages souhaités.

En conclusion, la surcharge cognitive est la cause des déficits d'apprentissages dans les phénomènes de charge cognitive. La CCE est une cause potentielle de surcharge, mais elle ne cause pas directement de déficits d'apprentissage.

Deux situations distinctes peuvent mener à la surcharge : soit la somme de la CCI et de la CCE mènent à la surcharge; soit la CCI suffit à provoquer une surcharge. Selon le cas, les interventions appropriées ne sont pas les mêmes. S'il y a de la CCE, il faut réduire ou éliminer la CCE et évaluer ensuite s'il y a toujours surcharge. Si la CCI suffit à causer une surcharge, il faut soit trouver des façons de gérer la CCI en la redistribuant dans une séquence différente de tâches ou de sous-tâches, soit changer la tâche d'une façon qui réduise les apprentissages attendus.

6.3. Incohérences dans la façon de définir la CCI et la CCE

Selon Sweller, la CCI est d'abord liée aux informations : « *Intrinsic cognitive load is determined by the level of interactivity between essential elements of information* » (Sweller et al., 2011, p. 193). Le niveau d'interactivité est défini par le nombre d'éléments interactifs.

Cette façon de définir la CCI paraît servir à l'opposer à la CCE, au sens où si la CCE est générée par la façon dont on présente l'information ou dont on structure la tâche, la CCI est générée différemment, soit par l'information à apprendre. Même s'il décrit maintenant tant la CCI que la CCE en termes d'éléments interactifs, Sweller attribue la CCI aux caractéristiques des informations à traiter, et la CCE aux caractéristiques de la tâche proposée. Il maintient cette vision des deux types de charge dans ses articles récents.

« Intrinsic cognitive load is determined by the intrinsic properties of the information being processed. It can be altered only by either changing the subject matter that must be assimilated or by changing the knowledge base of the learner. [...] Extraneous cognitive load is determined by instructional procedures. Some instructional procedures unnecessarily increase element interactivity and so increase extraneous cognitive load. » (Sweller, 2020b, p. 9)

Les deux types de CC sont donc définis sur des bases différentes. Sweller laisse ainsi entendre que la CCE est liée à des processus mentaux inutiles alors que la CCI s'appuie exclusivement sur l'information à apprendre. Cette manière différenciée de définir les deux types de CC permet une séparation conceptuelle claire. Cette séparation est cependant erronée, car la véritable distinction entre CCI et CCE est ailleurs. Tant la CCI que la CCE reposent à la fois sur des informations et sur des opérations mentales. Ce qui distingue la CCI de la CCE est leur contribution à l'apprentissage.

En plus d'être erronée, la séparation conceptuelle par Sweller de la CCI et de la CCE autour de l'axe information/processus est incohérente. En effet, en même temps que Sweller associe la CCE à des processus mentaux superflus, il évalue tant la CCI que la CCE par un décompte des éléments d'information (intrinsèques ou inutiles, le selon le cas), sans tenir compte des opérations mentales qui rendent les éléments interactifs. Il définit donc la CCI et la CCE sur des bases différentes, mais il les évalue sur la même base : celle des éléments d'information.

6.4. Les problèmes conceptuels avec la CCI

J'ai abordé quelques problèmes conceptuels relatifs à la CCI dans des sections précédentes, lorsque des problèmes avec d'autres concepts avaient un lien avec des problèmes avec le concept de CCI. Je vais présenter ici tous les problèmes conceptuels que j'ai pu identifier avec la CCI, sans répéter les explications qui ont déjà été données.

Le premier problème est celui de la prise en considération des opérations mentales. Plus encore que la charge cognitive, la CCI est définie par Sweller en fonction de l'information à apprendre, sans tenir compte des opérations mentales.

Le deuxième problème est que le concept de CCI tel que présenté par Sweller présume que tous les éléments interactifs doivent être traités simultanément en MdT. Ce n'est pas forcément toujours le cas.

Le troisième problème découle en partie des deux premiers. Il s'agit de l'idée que la CCI soit fixe pour un apprentissage donné. Cette idée pose problème parce qu'elle ne tient pas compte des opérations mentales ni de leur distribution dans le temps.

Le quatrième problème est de ne pas considérer que la CCI puisse causer seule une surcharge cognitive.

6.4.1. Le rôle des opérations mentales dans la CCI

Comme je l'écrivais plus tôt, la CCI est le type de CC où le rôle de l'information est le plus important dans la vision de Sweller : « *Intrinsic cognitive load is determined by the **intrinsic properties of the information being processed**.* [accentuation ajoutée] » (Sweller, 2020a, p. 9)

J'ai déjà expliqué dans la section sur le concept de charge cognitive que l'évaluation de la CC par le décompte des éléments interactifs occulte d'une part le fait que ces informations peuvent porter en elles certaines opérations mentales internes à l'élément, et d'autre part celui que les interactions entre les éléments reposent également sur des opérations mentales inter-éléments. L'ensemble de cet argumentaire s'applique à la CCI et ne sera pas répété ici. Il serait absurde que la CCI, la CC responsable de l'apprentissage, se limite à de l'information sous forme de connaissances déclaratives. L'apprentissage des connaissances procédurales et conditionnelles passe forcément par la CCI. Il faudrait donc interpréter le terme « information » dans un sens très large qui inclurait les opérations. La CCI ne peut pas être composée uniquement d'informations.

6.4.2. La distribution temporelle de la CCI

J'ai expliqué dans une sous-section précédente sur l'approximation de la CC que tous les éléments ne sont pas interactifs simultanément. Lorsque Sweller affirme que les éléments sont interactifs parce qu'ils doivent tous être traités simultanément en MdT, il prend un raccourci intellectuel. En réalité, le traitement des informations est distribué dans le temps, de telle sorte que les éléments interactifs d'une tâche interagissent par sous-ensembles dans des sous-tâches plutôt que de tous interagir simultanément (Beckmann, 2010).

Par exemple, dans un problème de géométrie où il faut calculer un angle inconnu à partir d'autres paramètres connus, une séquence de calculs préalables est habituellement requise avant de pouvoir calculer la valeur de l'angle recherché. Dans chacun de ces calculs intermédiaires, seuls les éléments nécessaires à ce calcul sont interactifs et on peut ignorer les éléments des calculs précédents qui ne sont pas utiles dans le calcul actuel. La complexité d'une tâche se révélerait ainsi dans la complexité de sa sous-tâche la plus exigeante. Cette idée rejoint celle de Kalyuga et Singh (2016) qui proposent de faire une appréciation de l'intensité de traitement cognitif tout au long de la tâche.

Cette analyse du déroulement d'une tâche et de l'évolution de sa CC en fonction des sous-tâches invalide l'idée que tous les éléments de la CCI doivent être traités simultanément.

La TCC avait déjà fait la démonstration que les éléments interactifs ne le sont pas toujours simultanément par le biais des deux effets permettant la gestion d'une CCI trop élevée : l'effet des éléments interactifs isolés et l'effet molaire-

modulaire. En restructurant la tâche par l'un ou l'autre de ces effets, il est possible de prévenir la surcharge cognitive en jouant sur l'enchaînement des sous-tâches ou en rehaussant le niveau d'expertise des apprenants par un début de tâche à complexité allégée qui permet de bâtir des schémas leur rendant la suite de la tâche accessible. La distribution temporelle de la CCI est exploitée directement par les deux effets de CCI. Il est donc étonnant que Sweller considère toujours que les éléments interactifs soient nécessairement traités simultanément.

6.4.3. Le caractère fixe de la CCI

L'une des caractéristiques de base de la CCI depuis son introduction dans la TCC est qu'elle est réputée être fixe pour un niveau d'expertise donné.

« *Some of the working memory load is imposed by the **intrinsic nature of the information** and that load is called 'intrinsic cognitive load'. It is **imposed by the basic structure of the information that the learner needs to acquire for achieving learning goals** irrespective of the instructional procedures used. [accentuations ajoutées]* » (Sweller et al., 2011, p. 57)

« *Whereas extraneous cognitive load can be manipulated by the instructional designer, and lowered accordingly, **intrinsic cognitive load is fixed and cannot be changed without altering either what is being taught and learned or altering the knowledge of the learner.*** [accentuation ajoutée] » (Sweller et al., 2011, p. 203)

Dans les deux citations précédentes, Sweller prend bien soin de préciser que la CCI est indépendante des méthodes pédagogiques utilisées pour enseigner une certaine matière.

Si, comme Sweller, on définit la CCI uniquement en fonction des informations à apprendre, il va de soi qu'elle soit fixe pour une matière donnée à un niveau d'expertise donné. Mais dès lors que l'on accepte que la CCI est déterminée non seulement par les informations à apprendre, mais aussi par les opérations mentales de traitement de ces informations, il n'est plus aussi évident que la CCI soit fixe pour un apprentissage donné à un niveau d'expertise donné.

D'abord parce qu'un même ensemble d'éléments d'information peut faire l'objet de plusieurs séquences d'opérations différentes, selon la tâche qui est à accomplir avec ces informations ou selon la démarche ou stratégie adoptée par l'apprenant. La CCI est donc forcément une fonction non seulement des informations à apprendre, mais aussi de la tâche proposée pour les apprendre, et même de la stratégie adoptée par l'apprenant lorsque plusieurs stratégies sont possibles. Il semble raisonnable de penser que ces séquences d'opérations n'ont pas toutes la même complexité, le même « coût » cognitif.

Sweller pourrait opposer que si deux tâches portant sur un même ensemble d'éléments d'information ont une CCI différente, la différence s'explique plutôt par la présence de CCE. Cette réplique n'est exacte que si l'on ignore les opérations de traitement des informations. Les effets associés à la CCP nous démontrent d'ailleurs que l'on peut faire varier le traitement des éléments de la CCI, dans le but explicite de rehausser les apprentissages sur la même matière de base.

Selon la vision de Sweller où la CCI est fixe en fonction des caractéristiques des informations à apprendre, le seul effet où la TCC prédit une augmentation de CCI est l'effet de variabilité des exemples, où l'on présente davantage d'information à traiter sous la forme d'exemples variés. L'effet d'imagination et l'effet d'auto-explication n'ajoutent pas d'information à une tâche, mais ils ajoutent des opérations et des éléments d'information intermédiaires. Ils ajoutent aussi une certaine pression sur l'aspect purement mnésique de la MdT car tous les éléments doivent y être retenus, alors que dans une tâche basée sur l'étude du problème résolu, les informations sont présentées sur un support externe qui évite d'avoir à toutes les retenir en MdT.

Si l'on admet que les opérations mentales font partie de la CCI au même titre que les informations, on doit alors inclure la tâche elle-même dans l'évaluation de la CCI. C'est la position défendue par Beckmann (2010) et par Schnotz et Kürshner (2007). Ces auteurs présentent d'ailleurs quatre stratégies applicables aux informations à apprendre qui peuvent résulter en des apprentissages rehausés, parce que le traitement qui sera fait des informations favorise des apprentissages qui vont au-delà de la performance de base à la tâche, mais au prix d'une CCI plus élevée ³¹ (Schnotz & Kürschner, 2007, p. 496) :

³¹ Dans leur article de 2007, Schnotz et Kürshner faisaient référence à la CCP pour cet extrait, mais dans la formulation originale de la CCP comme source de CC distincte de la CCI et de la CCE. Ce qu'ils nommaient CCP dans leur article est plutôt de la CCI dans la formulation contemporaine de la TCC.

- L'application délibérée de stratégies d'apprentissage
- La recherche délibérée de patrons ou de régularités dans le matériel d'apprentissage en vue d'en induire des représentations abstraites
- La restructuration des représentations des problèmes en vue de les solutionner plus facilement
- Le recours à des processus métacognitifs de surveillance de la cognition et de l'apprentissage

Même sans considérer des tâches alternatives qui visent à rehausser les apprentissages sur un même ensemble d'éléments, il est raisonnable de croire que des tâches alternatives qui visent seulement les mêmes apprentissages de base puissent avoir une CCI différente à cause de la façon dont elles sont conçues. Prenons l'exemple de l'effet de non-spécification du but et de l'effet du problème résolu. Les deux effets éliminent l'analyse moyens-fins et réduisent donc la CCE. Cependant, l'analyse de problèmes résolus semble à première vue plus exigeante en CCI que l'exploration de l'espace-problème d'un problème sans but spécifié. L'étude du problème résolu implique des opérations supplémentaires de comparaison des étapes pour situer la compréhension. Si cette hypothèse est juste, dès lors qu'un type de problème se prête aussi bien à l'une ou à l'autre des stratégies, celle de non-spécification du but devrait être la plus efficace. Cela ne signifie pas pour autant que l'approche par problème résolu génère davantage de CCE. Une tâche équivalente dans chacun de ces deux effets risque de mener aux mêmes apprentissages, avec un minimum de CCE dans les deux cas, mais avec une CCI possiblement différente. L'effet de non-spécification du but favorise une exploration libre d'espace-problème avec une découverte des solutions qui se fait avec peu d'efforts de mise en relation des états problèmes. L'effet du problème résolu place l'apprenant en situation d'analyse du problème et du passage entre chacun de ces états, une tâche qui pourrait s'avérer plus exigeante, sans pour autant générer plus de CCE. Il serait intéressant de comparer la CC relative de ces deux effets et de tenter d'évaluer leurs CCI respectives, de même que leur performance relative.

Sweller n'adhère pas à cette vision. S'appuyant sur sa propre vision que la CCE vient de la tâche et que la CCI vient de la matière à apprendre, Sweller affirme que si une partie de la CC peut être réduite par design sans changer les apprentissages, cette charge est nécessairement inutile (Sweller, 2010b, p. 125). Il

semble adhérer implicitement à l'idée que pour toute matière, il existerait une « tâche d'apprentissage minimale idéale », où la CC serait réduite à sa plus simple expression pour la matière à apprendre et serait constituée (presque) exclusivement de CCI. Selon cette conception de la CCI, pour toute autre tâche visant à apprendre la même matière, mais où la CC dépasse celle de cette tâche minimale idéale, la CC supplémentaire serait nécessairement inutile. Il y a un rapprochement à faire avec la confusion entre CCE et surcharge cognitive abordée plus tôt : Sweller identifie toute charge qui dépasse le strict minimum possible à de la CCE, sans égard à la nature des éléments ou opérations qui expliquent cette charge supplémentaire, ni à la nature de ce qui est dépassé (la capacité de MDT ou la CCI minimale idéale d'une tâche).

À partir de la période 7, Sweller accepte l'idée que la CCI soit dépendante non seulement de l'information et du niveau d'expertise, mais également de la tâche (Sweller, 2010b, 2023).

*« The isolated-interacting elements effect depends on artificially altering the element interactivity associated with intrinsic cognitive load. **The intrinsic cognitive load of a task cannot be changed but the task itself can be changed to a different task.** The isolated interacting elements effect relies on initially changing the task required of learners. **Instead of attempting to learn how a set of elements interact, normally the main goal of a task that includes interacting elements, students initially learn the individual elements without learning how they interact.** [accentuations ajoutées] » (Sweller, 2010b, p. 132)*

Il y a toutefois contradiction entre l'idée que seuls les éléments interactifs déterminent la CC et celle que la tâche qui les fait interagir puisse réduire la CC. Si deux tâches font interagir les mêmes éléments intrinsèques, mais de façon différente, ne devraient-elles pas avoir la même CCI, selon la conception de la CC de Sweller? Sweller semble considérer que le fait de changer la séquence d'interaction des éléments est une forme de réduction temporaire des apprentissages. Il s'agit d'un autre raccourci intellectuel qui ne résiste pas à l'analyse. Si l'on considère la tâche dans son ensemble, il n'y a pas de réduction des apprentissages. Au contraire, le design par étapes qui permet une construction progressive des schémas est justement ce qui rend la tâche accessible et permet les apprentissages attendus.

Dans la mesure où l'on ne change pas ce qui est appris au terme de la tâche, il est théoriquement possible que plusieurs tâches différentes se distinguent au niveau des activités mentales visant à apprendre le matériel, et donc sur le plan de la CCI générée, sans pour autant différer sur le plan de la CCE. Autrement dit, pour des tâches différentes qui traitent exactement les mêmes informations, qui visent les mêmes objectifs d'apprentissage, et qui génèrent le même niveau de CCE, il pourrait y avoir une différence de CCI parce que les opérations mentales qui contribuent à l'apprentissage sont différentes, sans nécessairement avoir de différence de performance. Pour un même niveau de performance, certaines tâches seront donc plus économiques que d'autres en termes de ressources de MdT consacrées à la CCI et il peut être très utile d'identifier ces « tâches minimales » pour améliorer l'efficacité de l'enseignement.

Par ailleurs, deux effets de CCI associés initialement à la CCP, soit l'effet d'imagination et l'effet d'auto-explication, démontrent clairement que la CCI est manipulable en modifiant la tâche sans changer la nature de ce qui est appris, mais en le faisant apprendre plus efficacement. Ces effets amènent l'apprenant à s'engager davantage dans la tâche : l'apprenant est forcé de rehausser son effort mental, ce qui améliore l'apprentissage. Ces effets permettent aussi d'améliorer une tâche trop simple qui laisse beaucoup de capacité de MdT libre en mettant plus d'emphasis sur des opérations qui favorisent la construction et l'automatisation de schémas.

En somme, la CCI est fixe pour une cible d'apprentissage donnée à un niveau d'expertise donné et pour une tâche donnée. Dès que l'un de ces trois paramètres change, la CCI sera différente. Une implication de tenir compte de la tâche pour déterminer la CCI est qu'une pluralité de tâches sont possibles pour réaliser un même apprentissage, et que chacune de ces tâches pourrait avoir une CCI différente.

6.4.4. L'éventualité que la CCI suffise à provoquer une surcharge cognitive

La discussion précédente à la section 6.3 sur la confusion entre les effets de la surcharge cognitive et les effets de la CCE a permis de présenter l'idée que la CCI puisse occasionner à elle seule la surcharge cognitive. Cette idée est en rupture avec la conception qu'a John Sweller de la CCI. Encore une fois, il est inutile de répéter ici l'argumentaire présenté plus tôt. La conclusion est que la CCI peut suffire à provoquer la surcharge cognitive. Lorsque cela se produit, l'excédent de CCI ne peut pas être qualifié de CCE, parce qu'il s'agit quand

même d'une charge qui aurait été utile à l'apprentissage si elle avait pu être traitée. Les solutions sont soit de réduire les apprentissages attendus, soit de gérer la CCI en la redistribuant dans une tâche modifiée qui prévient la surcharge.

6.4.5. Conclusion sur les problèmes conceptuels associés au concept de CCI

Outre le niveau d'expertise de l'apprenant et la matière à apprendre, la CCI devrait être déterminée en fonction de la tâche. Cette façon de définir la CCI permettrait de tenir compte des opérations mentales et d'imaginer des tâches variées qui traitent les mêmes informations, mais avec des résultats potentiellement différents. Elle serait ainsi plus représentative des phénomènes de CCI.

6.5. Les problèmes conceptuels avec la CCE

Comme pour la CCI, le concept de CCE hérite des problèmes conceptuels de la CC. Certains de ses problèmes conceptuels propres ont déjà été décrits dans d'autres sections précédentes. Les problèmes du concept de CCE qui ont déjà été abordés sont les suivants :

- L'évaluation de la CCE devrait tenir compte à la fois des opérations mentales et des éléments d'information qui en font partie
- L'évaluation de la CCE devrait tenir compte de sa distribution dans le temps
- La principale distinction entre CCI et CCE est que la CCE ne contribue pas aux apprentissages
- La CCE n'est pas la cause directe des déficits d'apprentissage. C'est la surcharge cognitive qui entrave l'apprentissage.
- La surcharge cognitive n'implique pas nécessairement qu'il y ait de la CCE.

Il reste un problème conceptuel à décrire quant à la CCE. Il concerne la réduction de la CCE. Même si elle est le point focal de la TCC, il n'est peut-être pas toujours possible de la réduire.

6.5.1. La CCE serait parfois irréductible

La réduction de la CCE est à l'origine de la TCC, avant même que ce concept ne soit identifié, et elle est toujours au cœur de la TCC. Il est important de noter que Sweller n'a jamais affirmé catégoriquement qu'il soit possible d'éliminer toute la CCE d'une tâche, ni que la CCE puisse toujours être réduite. Cette idée n'est donc pas en contradiction avec la TCC, mais constitue plutôt une précision.

L'hypothèse que la CCE puisse parfois être irréductible est liée à des facteurs situationnels et non à la nature propre d'une tâche. Même si on peut imaginer des tâches idéales qui ne comportent aucune CCE, une telle tâche n'est peut-être pas toujours possible dans la réalité parce que des facteurs pragmatiques font en sorte qu'un certain niveau minimal de CCE est probablement souvent présent même en appliquant les techniques proposées par la TCC.

La CCE peut être irréductible parce que certaines activités inutiles sont un passage obligé pour réaliser les activités intrinsèques. Par exemple, la lecture peut être nécessaire pour obtenir les consignes d'une tâche à réaliser, mais pour un lecteur débutant, cette lecture constitue une charge cognitive importante, qui est extrinsèque à la tâche : le but n'est pas de lire ou d'apprendre à lire, mais bien de réaliser une autre tâche, dont on ne peut prendre connaissance que par la lecture.

La CCE peut aussi être irréductible en raison de facteurs liés au contexte d'enseignement et d'apprentissage, par exemple si les ressources matérielles, informatiques, humaines ou financières disponibles ne permettent pas d'intégrer des sources d'information selon l'effet d'attention partagée ou l'effet de modalité.

Que peut-on faire face à une CCE évidente, mais irréductible dans le contexte de la situation? En l'absence de surcharge, on peut la tolérer. En présence de surcharge, on peut tenter d'utiliser des moyens d'étayage, ou sinon de réduire la seule autre source de CC : la CCI. Il est envisageable que dans certaines situations, il soit plus facile d'intervenir sur la CCI que sur la CCE.

6.6. Les problèmes conceptuels avec la CCP

Depuis le début de la période 7, qui est la période contemporaine, la CCP n'est plus un construit de même nature que la CCE ou la CCI. Elle désigne mainte-

nant la part de ressources de la MdT qui est allouée à traiter la CCI. Cette redéfinition visait à résoudre des difficultés conceptuelles (Sweller, 2010b), mais elle a occasionné deux nouvelles difficultés.

La première de ces difficultés est qu'une confusion importante résulte de la redéfinition complète du construit. Il s'agit en fait d'un construit différent. La CCP y a perdu son indépendance des autres types de CC, mais elle a conservé le même nom. Plusieurs chercheurs n'ont pas pris connaissance de ce changement dans la TCC et ont publié des articles s'appuyant sur un cadre théorique dépassé (par exemple : Young, ten Cate, O'Sullivan, & Irby, 2016; Hillard & Sedaghat, 2021). Puisque le terme a été vidé de son sens original, il aurait été logique et avantageux de simplement le retirer. De cette façon, chaque fois où un auteur l'aurait utilisé, nous aurions su exactement à quel construit il référerait. L'usage du terme aurait renvoyé uniquement à son sens historique, sans jamais porter à confusion entre deux interprétations possibles.

La deuxième de ces difficultés est que la nouvelle définition de la CCP se substitue à un vocabulaire déjà établi, beaucoup plus clair : celui des dimensions de charge mentale et d'effort mental (Sweller et al., 1998; van Merriënboer & Sweller, 2005). Depuis la redéfinition de la CCP comme étant la partie des ressources de MdT consacrées au traitement des éléments intrinsèques, la CCP désigne exclusivement la dimension d'effort mental de la CCI. Il s'agit du seul construit à utiliser l'expression « charge cognitive » en ne désignant qu'une dimension la CC. Puisque le terme charge cognitive désigne l'ensemble des dimensions pour tous les autres concepts de CC, l'usage même du terme CCP entraîne une ambiguïté importante car elle devient une exception. Le terme poserait problème même s'il n'y avait pas la confusion entre son sens original et son nouveau sens, du simple fait qu'il est le seul à utiliser l'expression charge cognitive pour ne désigner qu'une seule dimension de CC. Par ailleurs, la CCE n'a pas de tel terme propre à sa dimension d'effort mental, ce qui crée une asymétrie qui n'a pas d'autre explication que l'historique tortueux de la conceptualisation des construits de CC.

6.7. Le caractère absolu ou relatif de la CC

Le dernier des problèmes conceptuels recensés au cours de l'analyse conceptuelle de la TCC présentée dans ce mémoire est une ambiguïté à savoir si la CC se mesure en termes absolus, ou relativement à la capacité de MdT.

Sweller parle le plus souvent de la CC en termes absolus, comme lorsqu'il propose d'estimer et de compter les éléments interactifs *a priori*. Mais il en parle parfois en termes relatifs à la capacité de la MdT, comme lorsqu'il décrit l'effet de modalité. Il est bien établi que la capacité de la MdT varie entre les individus et chez un même individu selon son âge et son niveau de fatigue. Sweller a mentionné que pour un niveau d'expertise donné, un apprenant qui a une plus faible capacité de MdT vivra une plus forte charge cognitive qu'un autre apprenant dont la capacité de MdT est plus élevée. C'est une erreur de décrire la situation en ces termes. Cette erreur est également commise dans une discussion sur l'effet de modalité, où Sweller affirme que le rehaussement « virtuel » de la capacité de MdT par cet effet réduit la CC.

L'effet de modalité découle de l'effet d'attention partagée, mais s'appuie sur un autre mécanisme pour intégrer l'information. L'effet de modalité se produit lorsque l'on intègre deux informations en les présentant dans des modalités sensorielles différentes, la vue et l'ouïe, plutôt que seulement la vue en intégrant texte et images dans une même représentation. En plus d'intégrer les deux sources d'information comme dans l'effet d'attention partagée, l'effet de modalité permet de tirer avantage des sous-processeurs indépendants de la MdT du modèle de Baddeley (1992) : puisque la MdT a deux sous-composantes (visuelle et auditive/verbale), on peut maximiser son utilisation en présentant une partie de l'information dans chaque modalité.

Sweller décrit cet effet comme une augmentation de la capacité de la MdT. Par exemple : « [...] *under certain restricted conditions, working memory capacity may be increased by the use of multiple processors rather than by a single, working memory processor.* » (Sweller et al., 1998, p. 252) Ou plus récemment : « *When dealing with, for example, a diagram and text, instead of presenting the text in written form, it can be presented in spoken form. By using both auditory and visual channels, working memory capacity can be increased.* » (Sweller, 2016, p. 7) Cette description est un autre raccourci inexact. La capacité de la MdT n'augmente pas; cet effet exploite simplement la pleine capacité de la MdT en tenant compte de sa structure.

Sweller fait une affirmation étonnante en décrivant cet effet : « [...] *the results provide further evidence that to some extent, effective working memory may be increased **and this increase can be used to reduce cognitive load and facilitate learning.*** [accentuation ajoutée] » (Sweller et al., 1998, p. 283) Le passage

en caractères gras suggère que la CC soit relative à la capacité de la MdT. Autrement dit, du simple fait d'avoir une capacité de MDT augmentée, *de facto* la CC peut être réduite. Cela pose un problème théorique majeur : la CC, du moins dans sa dimension de charge mentale, n'est pas déterminée par la capacité de MdT, mais bien par le niveau d'expertise de l'apprenant, les caractéristiques de la tâche, et celles de la matière à apprendre. Un rehaussement de capacité de MdT pourrait peut-être permettre d'augmenter l'effort mental, mais il ne s'agit pas pour autant d'une réduction de charge; au contraire, la dimension d'effort mental de la charge cognitive peut augmenter à un niveau supérieur grâce à l'augmentation de la capacité. L'erreur de concevoir la CC comme relative relève justement l'importance de bien départager la charge mentale, l'effort mental, et la capacité de MdT.

La charge mentale est une demande en ressources; l'effort mental est l'allocation des ressources. La quantité de ressources demandées ne diminue pas si la capacité de la MdT de l'apprenant est mieux exploitée et la charge ne sera donc pas réduite. Le risque de surcharge est plus élevé en situation de ressources plus limitées, mais la charge mentale n'augmente pas et peut même diminuer car elle est plafonnée à la capacité de MdT. Cette confusion rappelle celle discutée précédemment entre la CCE et la surcharge cognitive.

La seule explication où l'on pourrait admettre que la capacité de MdT affecte la CC est donc en référence à l'effort mental, ou à la perception de l'apprenant de cet effort. Un apprenant dont la MdT est plus limitée aura l'impression subjective que la tâche est plus difficile et qu'il a dû « tout donner » pour compléter la tâche. De son point de vue, l'effort est supérieur, mais dans une définition populaire de l'effort et non au sens d'effort mental comme dimension de la charge cognitive tel que défini par Sweller, van Merriënboër et Paas (Sweller et al., 1998). Car en termes absolus d'éléments interactifs et d'opérations (pour autant que l'on puisse les objectiver) son effort est soit égal aux autres s'il arrive à compléter la tâche, soit moindre dans le cas où il manque de ressources pour réaliser la tâche.

On peut faire l'analogie d'une tâche très exigeante physiquement comme de déplacer des objets lourds d'un point A à un point B : une personne très musclée y arrivera plus facilement qu'une personne au physique moins robuste, mais au terme de la tâche, les deux personnes auront porté exactement la même charge.

L'effort mental maximal d'un apprenant est peut-être plus bas s'il a une capacité de MdT moindre qu'un autre apprenant, et il se trouvera peut-être en surcharge alors que d'autres apprenants ne le seront pas, mais ça ne change rien à la charge mentale de la tâche. La charge mentale d'une tâche pour un niveau d'expertise donné est la même, peu importe la capacité de MdT.

Bien qu'il y ait un certain intérêt à déterminer la *proportion* des ressources de la MdT qui est utilisée par une personne donnée pour une tâche donnée, il ne s'agit pas d'une bonne façon de calculer la charge cognitive de façon générale. Déterminer la capacité de MdT libre peut être utile pour identifier les situations de surcharge ou pour identifier les occasions de rehausser la complexité d'une tâche qui s'avère trop facile. Mais pour éviter toute forme de confusion, la charge cognitive devrait toujours être calculée en termes absolus et non relatifs à la capacité de la MdT. Un indice relatif pourrait être utilisé dans certains cas, mais il faudrait qu'il porte un autre nom que charge cognitive. Ce nom devrait évoquer l'idée de proportion, comme un taux d'utilisation de la MdT par exemple.

6.8. Conclusion de l'analyse critique

Plusieurs problèmes conceptuels ont été décrits avec les cinq concepts de charge cognitive. Mis ensemble, ces problèmes brossent le portrait d'une théorie qui manque de maturité conceptuelle, posant un regard superficiel sur les phénomènes qu'elle étudie.

Alors que la TCC repose entièrement sur l'hypothèse de l'apprentissage par le traitement des informations en mémoire de travail, elle évalue la charge cognitive par des approximations qui ne considèrent même pas les processus par lesquels l'information est traitée.

Ses principaux construits présentent tous plusieurs problèmes de conceptualisation. Certains aspects de leur conceptualisation sont incohérents, voire contradictoires. D'autres aspects manquent de précision ou de clarté. Des interprétations multiples du sens des concepts ou de résultats empiriques sont non seulement possibles; elles sont avérées. Même John Sweller ne donne pas toujours le même sens aux construits de CC dans un même texte, comme c'est le cas par exemple lorsqu'il parle de la CC en termes absolus ou en termes relatifs dans un même article.

Une théorie dont le concept central est la charge cognitive se doit de proposer une définition claire, précise, univoque et « opérationnalisable » de tous les

construits de charge cognitive. Les zones de chevauchements entre les construits doivent être bien délimitées pour éviter toute ambiguïté.

La mesure empirique de la CC repose sur sa conceptualisation. En présence de problèmes conceptuels, la recherche empirique est limitée dans les avancées qu'elle peut faire. Si l'on veut estimer la CC de manière à permettre des prédictions et des validations justes, il faudrait caractériser minutieusement non seulement des informations qui sont traitées, mais aussi l'enchaînement des opérations mentales qui produisent ce traitement.

Chapitre 7 – Nouvelles définitions, limites de la recherche, implications pour l’enseignement et pistes futures de recherche

Après avoir analysé l’histoire de la TCC et la conceptualisation de ses principaux construits, il convient de proposer des améliorations pour tenter de résoudre les problèmes conceptuels identifiés.

Je vais d’abord présenter une vue d’ensemble de ce que devraient être les principes fondamentaux de la TCC à l’avenir.

Ensuite je vais proposer de nouvelles définitions pour les concepts que j’ai analysés.

J’enchaînerai en parlant de certaines limites de la recherche que j’ai menée.

J’aborderai par la suite les implications de mes propositions pour la conception pédagogique et l’enseignement.

Finalement, je vais proposer des pistes de recherche future.

7.1. Les principes fondamentaux de la TCC

La TCC est née d’observations démontrant que l’analyse moyens-fins entrave l’apprentissage de la résolution de problèmes. On associera plus tard l’analyse moyens-fins à la charge cognitive inutile et à la surcharge cognitive. Parce que la surcharge cognitive a le plus souvent été observée en présence de charge cognitive inutile, la TCC est de façon prédominante orientée sur la réduction de la CCE.

L’analyse présentée dans le chapitre précédent démontre que la TCC devrait d’abord s’orienter sur la prévention de la surcharge cognitive, peu importe que sa source soit une combinaison de CCE et de CCI ou qu’elle vienne uniquement de la CCI.

Réduire la CCE ou gérer la CCI ne sont pas des fins en soi. Les techniques de manipulation de la CCE et de la CCI ne sont que des moyens de prévenir la surcharge cognitive, qui est le véritable objectif de la TCC.

Voici ma proposition globale sur ce que devraient être les principes fondamentaux de la TCC. Cette proposition est en partie inspirée de celle de Schnotz et Kürshner (2007, p. 502) :

- La cause des effets négatifs de la CC sur l'apprentissage est la surcharge cognitive.
- Les types de CC sont identifiés selon que les éléments et les opérations de traitement de l'information en MdT contribuent (CCI) ou non (CCE) aux apprentissages attendus.
- La surcharge cognitive peut être causée par la CCI seule, ou par la somme de la CCI et de la CCE.
- Lorsque la CCE fait partie des causes de la surcharge, elle devrait être réduite autant que possible.
- Lorsque la réduction de la CCE est impossible ou ne permet pas d'éviter la surcharge, on devrait réduire la CCI ou altérer la tâche de façon à redistribuer la CCI d'une manière qui prévienne la surcharge.

Avec cette proposition, le centre d'intérêt de la TCC se déplace de la CCE vers la surcharge cognitive. De plus, le type de CC peut être déterminé d'une façon qui est conceptuellement cohérente dans toutes les situations et toutes les tâches, sans égard aux résultats d'apprentissage.

7.2. Nouvelles définitions des concepts de CC

Je propose ci-dessous de nouvelles définitions pour les concepts que j'ai analysés sur le plan historique et conceptuel dans les chapitres précédents. Ces définitions pourraient être précisées suite à des recherches permettant de mieux cerner le rôle des opérations mentales dans la charge cognitive.

Je veux mentionner d'emblée que même si ces définitions tracent une ligne de démarcation théorique très claire les types de CC et leurs dimensions, les choses ne sont pas toujours aussi simples en pratique. En effet, le fait de contribuer à la construction et à l'automatisation des schémas n'est pas une détermination purement dichotomique, mais plutôt une de degré : la question est plutôt de savoir à quel point une tâche, une sous-tâche ou une opération mentale contribue aux apprentissages attendus et de la comparer aux alternatives. Par exemple, l'analyse moyens-fins de la résolution de problèmes traditionnelle est peu efficace pour l'apprentissage, mais comme des générations d'apprenants peuvent en témoigner, on finit par en tirer des apprentissages à force de répéti-

tion. Sweller présume que c'est par l'automatisation des opérations abondamment répétées qui libère la MdT pour la construction des schémas. Les pistes de recherche futures que je propose pourraient aider à estimer les niveaux relatifs de contribution aux apprentissages attendus des différentes activités mentales d'une tâche donnée.

7.2.1. Définition de la charge cognitive

La charge cognitive d'une tâche est constituée de l'ensemble des éléments interactifs en mémoire de travail et des opérations de traitement de ces informations.

7.2.2. Définition de la surcharge cognitive

La surcharge cognitive est le dépassement des capacités de la mémoire de travail par une tâche cognitive.

7.2.3. Définition de la charge cognitive intrinsèque

La charge cognitive intrinsèque d'une tâche est constituée de l'ensemble des éléments interactifs en mémoire de travail et des opérations de traitement de ces informations contribuant aux apprentissages attendus.

7.2.4. Définition de la charge cognitive inutile

La charge cognitive inutile d'une tâche est constituée de l'ensemble des éléments interactifs en mémoire de travail et des opérations de traitement de ces informations ne contribuant pas aux apprentissages attendus.

7.2.5. Définition de la charge cognitive pertinente

Le nouveau sens de l'expression CCP proposée par Sweller (2010b) désigne les ressources de MdT effectivement allouées par un apprenant au traitement de la CCI. Je rejette cette proposition, car elle sème la confusion en changeant complètement le sens de l'expression : le construit que Sweller y décrit n'est pas une évolution du construit original de CCP, mais plutôt un construit différent. Cet autre construit doit avoir un nom unique et une définition univoque.

Je propose donc de ne plus utiliser le terme « charge cognitive pertinente » que dans son sens original, et uniquement dans un contexte historique. Par conséquent, je m'abstiens de le redéfinir.

Je propose plutôt d'utiliser une nouvelle expression pour désigner les ressources de MdT effectivement allouées par un apprenant au traitement de la

CCI : l'effort mental intrinsèque. Cette proposition est plus cohérente avec le reste de la terminologie. J'explique pourquoi dans la section suivante.

7.2.6. Définition de concepts pour les dimensions des types de charge cognitive

Même si je considère que la redéfinition que Sweller propose pour le concept de CCP pose problème, elle a le mérite de permettre de désigner spécifiquement l'allocation de ressources pour traiter la CCI, à l'exclusion de la CCE et de la dimension de charge mentale. Cela met en lumière l'utilité d'avoir d'un vocabulaire permettant de désigner de façon précise et univoque toutes les combinaisons de types et de dimensions de la CC.

Le fait d'utiliser l'expression « charge cognitive » en parlant parfois de la demande en ressources, parfois de l'allocation de ressources, parfois des deux à la fois, ne fait qu'entretenir la confusion, particulièrement lorsque le contexte ne donne pas la certitude de savoir à quoi on réfère exactement. Il s'agit d'un problème conceptuel important : chaque terme doit être univoque, et chaque construit doit avoir son propre nom.

Pour résoudre ce problème, la solution la plus simple est d'exploiter les dimensions de la CC déjà identifiées : la charge mentale et l'effort mental. George parle d'ailleurs de la spécification des dimensions d'un concept comme d'une amélioration fréquente dans l'histoire des sciences : « *When we deal with multi-dimensional concepts, it is often theoretically fruitful to specify methodologically the component dimensions involved in it. History of science has plenty of examples of increasing specification of various dimensions of general concepts* » (George, 1973, p. 30).

Tout comme la charge cognitive a les dimensions de charge mentale (qui correspond à la tâche) et d'effort mental (qui correspond à l'activité de l'apprenant), il serait utile d'employer ces mêmes dimensions pour la CCI et pour la CCE lorsque cette précision est pertinente. Ainsi, nous pouvons définir quatre nouveaux concepts qui découlent de la nouvelle définition des types de CC et de leurs dimensions de charge mentale et d'effort mental, comme le présente le tableau suivant.

Tableau 7.1 – Dimensions des types de charge cognitive

Dimension de CC Type de CC	Charge mentale (ce que la tâche exige)	Effort mental (l'activité vraiment réalisée)
Charge cognitive intrinsèque (CCI)	Charge mentale intrinsèque (CMI)	Effort mental intrinsèque (EMI)
Charge cognitive inutile (CCE)	Charge mentale inutile (CME)	Effort mental inutile (EME)

Les définitions de ces quatre concepts suivent ci-dessous.

7.2.6.1. Définition de la charge mentale intrinsèque

La charge mentale intrinsèque d'une tâche est constituée de l'ensemble des éléments interactifs et des opérations mentales devant être réalisées sur ces éléments en mémoire de travail pour réaliser les apprentissages attendus de la tâche.

7.2.6.2. Définition de l'effort mental intrinsèque

L'effort mental intrinsèque d'une tâche est constitué de l'ensemble des ressources de mémoire de travail allouées par un apprenant au traitement de la charge mentale intrinsèque de la tâche.

L'effort mental intrinsèque correspond à la nouvelle définition proposée par Sweller (2010b) pour le concept de charge cognitive pertinente.

7.2.6.3. Définition de la charge mentale inutile

La charge mentale inutile d'une tâche est constituée de l'ensemble des éléments interactifs et des opérations mentales devant être réalisées sur ces éléments en mémoire de travail qui n'apportent aucune contribution aux apprentissages attendus de la tâche.

7.2.6.4. Définition de l'effort mental inutile

L'effort mental inutile d'une tâche est constitué de l'ensemble des ressources de mémoire de travail allouées par un apprenant au traitement de la charge mentale inutile de la tâche.

7.3. Nouvelles définitions de concepts connexes : les schémas et les éléments

Puisque les concepts de CC reposent sur les construits de schéma et d'élément, et que ces deux autres construits présentent aussi des problèmes conceptuels dans la TCC, j'en propose de nouvelles définitions cohérentes avec l'analyse conceptuelle réalisée au chapitre précédent et qui évitent le piège de la circularité.

7.3.1. Définition de schéma

Un schéma est une représentation mentale qui intègre un ensemble d'informations et d'opérations de traitement de ces informations en une seule unité porteuse de sens.

7.3.2. Définition d'élément

Un élément en mémoire de travail est une unité porteuse de sens, qui permet de reconnaître ou de traiter des informations.

7.4. Limites de la présente recherche

La présente recherche présente trois limites principales.

D'abord il s'agit d'une analyse presque exclusivement interne de la TCC : analyser la TCC en ne s'intéressant qu'aux idées qui la composent et à la façon dont elles sont exprimées. Une approche d'analyse externe apporterait un regard complémentaire intéressant, et permettrait peut-être de trouver d'autres angles sous lesquels critiquer ou améliorer la TCC. L'analyse externe peut prendre plusieurs formes, comme de comparer la théorie à une autre théorie. Ici la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (Mayer & Roxana, 2010) ou la théorie ACT-R d'Anderson (Anderson et al., 1997) pourraient être de bons candidats. Une autre forme d'analyse externe de la TCC qui pourrait être réalisée serait de l'analyser à partir d'une métathéorie (Van der Maren, 1996, p. 74).

Une deuxième limite est qu'en écartant d'emblée les études empiriques, on s'appuie nécessairement sur les interprétations de résultats faites par d'autres personnes : celles des chercheurs ayant réalisé les expériences, celles des chercheurs les ayant commentées, et celles des théoriciens les ayant intégrées. L'analyse des articles théorique nous place donc toujours en deuxième degré avec les résultats ayant contribué à élaborer la théorie. En retournant aux résultats empiriques, peut-être pourrait-on soit découvrir de nouvelles interprétations

des résultats, soit y trouver des appuis pour les propositions faites uniquement sur la base de l'analyse théorique, soit au contraire invalider certaines de ces propositions.

Finalement, le choix d'exclure de l'analyse de la TCC les textes dont John Sweller n'est pas l'auteur ou le co-auteur présente le risque de passer à côté d'éléments tout à fait pertinents. Cela étant dit, les articles théoriques auxquels John Sweller n'a pas contribué ont été considérés, mais plutôt à titre d'articles critiques ou complémentaires qui ne font pas partie de la théorie « officielle ». Ils ont été cités pour exposer les limites de la théorie « officielle », mais n'ont pas été considérés comme en faisant eux-même partie au même titre que ceux de Sweller. Je les ai plutôt traités comme des propositions pour la TCC que comme des parties de la TCC.

7.5. Implications pour la conception pédagogique et l'enseignement

Bien que ce mémoire porte sur l'enjeu nomothétique plutôt que sur l'enjeu praxéologique, il est de mise d'identifier les retombées pour les champs de la technologie éducative et de la formation à distance.

Une première retombée découle de la clarification que le but de la TCC est de prévenir la surcharge cognitive en situation d'apprentissage, et non de réduire la CCE. En cessant de confondre les moyens avec la finalité, les techniques appropriées de gestion de la CCI et de la CCE dans une situation donnée seront plus faciles à identifier et à appliquer. Comme la technologie éducative et la formation à distance reposent toutes deux sur la conception pédagogique, une clarification des méthodes de conception appropriées semble pertinente.

Une autre retombée possible est que les concepteurs pédagogiques qui chercheront à prévenir la surcharge cognitive des apprenants auront peut-être davantage le réflexe d'anticiper les opérations mentales que devront réaliser les apprenants dans les activités d'apprentissage, ainsi que d'évaluer les interrelations entre les informations à traiter, plutôt que de seulement tenter d'estimer la quantité d'information à traiter simultanément. Même sans réaliser d'analyse de tâches cognitive complète et rigoureuse, une appréciation générale de l'enchaînement des opérations mentales et des ensembles de données traitées à chaque étape d'une tâche serait déjà un grand pas en avant.

Par ailleurs, un vocabulaire plus précis et conceptuellement plus cohérent autour des concepts de charge cognitive facilitera le travail de conception pédagogique en clarifiant les idées sous-jacentes aux différents principes et techniques de prévention de la surcharge cognitive. En s'inspirant de la phrase bien connue de Nicolas Boileau-Despréaux, on pourrait dire que ce qui se conçoit bien s'énonce bien et facilite la mise en œuvre des pratiques qui en découlent.

Des retombées plus précises dépendront surtout des recherches futures qui pourront mieux cerner les interventions de prévention de la surcharge cognitive dans la conception des matériels et activités d'apprentissage. Par exemple, identifier parmi un ensemble de techniques de prévention de la surcharge cognitive la technique la plus efficace en fonction de paramètres courants. La section suivante porte justement sur des pistes de recherche futures.

7.6. Pistes de recherche future

J'ai évoqué à quelques reprises différentes façon de faire avancer la TCC en fonction de l'analyse conceptuelle réalisée au chapitre précédent. Je vais les réunir ici et élaborer davantage sur chacune d'elles.

Celles-ci visent à poursuivre l'analyse conceptuelle de la TCC avec des approches complémentaires à celle utilisée dans le présent mémoire, à tenter de mieux comprendre certains phénomènes pour lesquels les explications actuelles de la TCC sont lacunaires, ou à trancher entre des hypothèses alternatives pour expliquer certains phénomènes.

7.6.1. L'analyse de tâche cognitive

La piste de recherche la plus importante à mon avis est celle de l'analyse de tâche cognitive. Il y a eu peu de recherche dans le cadre de la TCC qui s'est intéressée non seulement aux éléments d'information interactifs mais également aux opérations mentales qui traitent ces informations. Chacune de ces études a permis de mettre en relief l'importance des opérations mentales dans les phénomènes de charge cognitive, incluant celle de Sweller en 1988.

Les nouvelles définitions que je propose font une place aux opérations mentales, mais il reste des pas à franchir pour mieux caractériser ces opérations et leurs contributions spécifiques à la charge cognitive dans la pratique. Des recherches empiriques où l'on opérationnaliserait ces définitions pour mesurer la

contribution des opérations mentales à la CC permettraient de poursuivre le travail entrepris notamment par Sweller (1988), Gerjets et collègues (Gerjets et al., 2009) et Beckmann (2010).

Je soupçonne que les opérations mentales ne peuvent pas simplement être comptées pour rendre compte de leur contribution à la CC. Leur répartition dans le temps et entre des sous-tâches détermine probablement leur contribution aux charges cognitives maximale, moyenne et totale. De plus, des opérations qui découlent de relations binaires risquent d'avoir un moindre impact sur la CC que des opérations qui découlent de relations ternaires ou quaternaires. Il est donc important que les analyses de tâche cognitive représentent le plus précisément possible les activités mentales pour produire des estimations précises de la CC.

Par exemple, il serait utile de valider si la CC croît de manière linéaire ou selon d'autres fonctions mathématiques en fonction de certains indices : le nombre d'éléments interactifs, la quantité d'opérations à réaliser, la complexité des opérations à réaliser, etc.

Beckmann (2010) estimait que la complexité des opérations joue un rôle plus grand dans la charge cognitive que le nombre d'éléments à traiter. Sweller arrivait aussi à cette conclusion en 1988. L'analyse de tâche cognitive permettrait peut-être aussi de savoir si le seuil de la surcharge dans une tâche est atteint d'abord au niveau des opérations ou plutôt des informations à traiter.

L'analyse de tâche cognitive, couplée à des études empiriques, permettrait aussi de déterminer à quel point l'approximation par les éléments d'information donne un indice juste de la CC d'une tâche. Si l'indice est suffisamment précis la plupart du temps, la recherche pourrait tenter d'identifier les conditions dans lesquelles l'approximation risque d'être erronée.

7.6.2. La comparaison de la CCI de différentes tâches visant les mêmes apprentissages

J'ai évoqué l'idée que différentes tâches conçues pour mener aux mêmes apprentissages pourraient générer des CCI différentes. Cette hypothèse mériterait d'être testée.

Une recherche utile à réaliser serait de comparer systématiquement deux effets qui éliminent la CCE, soit l'effet de non-spécification du but et l'effet du problème résolu. Comme ces deux méthodes éliminent l'analyse moyens-fins et peuvent être appliquées à un problème identique, elles permettent de comparer

la CCI relative de deux tâches distinctes portant sur un même apprentissage attendu et ayant le même nombre d'éléments interactifs. Mon hypothèse est que la CCI sera plus élevée avec l'étude du problème résolu. Il serait pertinent de comparer également les résultats d'apprentissage et la performance afin de déterminer si ce qui est appris diffère entre les deux méthodes. L'analyse de tâche cognitive jumelée à des expériences soigneusement conçues pourraient tester cette hypothèse.

7.6.3. La conduite d'analyses externes de la TCC

Comme une limite de la présente recherche est d'avoir réalisé une analyse principalement interne de la TCC, des analyses externes pourraient compléter cette analyse interne et l'enrichir. Par exemple : la comparaison à d'autres théories ou l'analyse à partir de métathéories.

7.6.4. L'analyse de la littérature empirique à la lueur des nouvelles propositions

Une littérature empirique abondante existe sur la TCC. Il serait intéressant de réviser cette littérature en lui appliquant le cadre théorique ajusté proposé dans le présent projet pour le mettre à l'épreuve. Sous un autre angle, la littérature empirique pourrait être révisée sans l'a priori des propositions de ce mémoire pour voir dans quelle mesure les résultats des expériences peuvent mener à des interprétations alternatives.

Chapitre 8 – Conclusion générale

Cette citation de George résume bien l'esprit dans lequel j'ai voulu conduire ce projet de recherche.

Conceptualization in science is basically an insight in organizing our thoughts and observations, which provides an understanding of reality. A good concept is expected not only to focus our attention on new areas of research, organize seemingly unrelated contents, problems and thoughts, but also to raise new questions and provide new answers which are not open to the laymen. (George, 1973, p. 33)

Avant même de débiter officiellement ce projet, j'avais remarqué plusieurs affirmations dans les articles que j'avais lus sur la théorie de la charge cognitive qui me soulevaient des questionnements. J'avais repéré des aspects qui me semblaient contradictions ou incohérents, et ce qui me semblait être des raccourcis intellectuels insatisfaisants.

Mon projet de recherche consistait à faire une analyse historique et conceptuelle de 5 construits centraux de la théorie de la charge cognitive. Je voulais étudier attentivement à la fois l'évolution des construits au fil du développement de la théorie et en cerner les lacunes, pour ensuite proposer des solutions aux problèmes conceptuels identifiés. Je crois avoir atteint ces objectifs, tant en m'appuyant sur les travaux d'autres chercheurs qu'en proposant une contribution originale à la conceptualisation de plusieurs construits de charge cognitive. Certaines de mes intuitions de départ n'étaient pas fondées, mais d'autres ont été encore plus fertiles que je ne l'imaginai.

J'ai proposé une nouvelle périodisation de la TCC qui marque chacune des étapes de son évolution conceptuelle. Au-delà du besoin spécifique de mon propre projet, je crois que cette périodisation rend bien compte des différents moments charnières du développement de la TCC et pourrait être utile à d'autres chercheurs. J'ai également décrit et analysé plusieurs problèmes de conceptualisation dans la TCC.

La TCC est née de l'hypothèse que certains processus de traitement de l'information interfèrent avec l'apprentissage parce qu'ils entraînent le dépassement des capacités cognitives de l'apprenant. Cette hypothèse s'est confirmée dans de nombreuses recherches empiriques. John Sweller a proposé une nouvelle

théorie, la théorie de la charge cognitive, comme cadre de référence pour expliquer ces phénomènes. Différents construits ont émergé pour les désigner et pour les expliquer, dont cinq concepts de charge cognitive : la charge cognitive, la surcharge cognitive, la charge cognitive inutile, la charge cognitive intrinsèque et la charge cognitive pertinente.

La théorie a évolué en différentes périodes qui se distinguent principalement par l'évolution de ces concepts pour rendre compte de résultats de recherche de plus en plus abondants à mesure que de nouveaux chercheurs s'y sont intéressés. Dans son évolution, la TCC a progressivement délaissé les explications basées sur le traitement des informations pour se concentrer davantage sur la quantité d'information à traiter pour expliquer les phénomènes de charge cognitive.

En analysant les concepts fondamentaux de la TCC, au-delà du caractère flou du concept, on découvre plusieurs incohérences et contradictions qui fragilisent ses fondements. On s'aperçoit également que malgré que la TCC repose principalement sur le traitement des informations en mémoire de travail, elle ne s'intéresse qu'en surface aux processus ayant cours en mémoire de travail. Elle s'appuie sur des approximations, propose des concepts mal définis, et contient beaucoup d'ambiguïtés et même de contradictions. Un concept flou ou polysémique n'est pas nécessairement sans valeur. Certains présentent même une puissance explicative intéressante (e.g. système, information, fonction) ³². L'analyse réalisée dans ce mémoire révèle toutefois que les problèmes de conceptualisation dans la TCC vont bien au-delà du simple fait que le concept de CC soit flou. Les enjeux de conceptualisation décrits dans les chapitres précédents limitent les interprétations que l'on peut faire des phénomènes de charge cognitive, tant sur le plan théorique que sur le plan empirique.

Quand on considère l'ensemble de ces problèmes, il se dégage l'impression d'une théorie immature, dont la conceptualisation est inachevée. Des chercheurs tels que Machado ou George estiment qu'une conceptualisation déficiente a des impacts prévisibles, comme de mal orienter la recherche ainsi que l'interprétation de ses résultats. Nous pouvons observer ces impacts dans la TCC. Cela n'a pas empêché la TCC d'apporter une contribution pertinente et utile aux domaines de l'enseignement et de la conception pédagogique, mais il

³² Je remercie un des évaluateurs anonymes de ce mémoire pour avoir attiré mon attention sur ce point important.

n'en demeure pas moins que ces difficultés épistémologiques constituent des limites importantes qui ont des retombées concrètes.

De façon générale, et même en faisant abstraction de ses incohérences, la TCC propose un modèle de la CC qui est trop simple pour ses propres ambitions. Il est vrai qu'un modèle est nécessairement réducteur par rapport à la réalité qu'il cherche à représenter. C'est souvent en adoptant une représentation simplifiée des phénomènes naturels qu'une modélisation arrive à les rendre compréhensibles. Cette simplification implique que l'on ne représente pas intégralement la réalité qui est modélisée. Comme le veut l'aphorisme attribué au statisticien George Box : « Tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles ». Par contre, la description extrêmement simplifiée des phénomènes de charge cognitive dans la TCC laisse énormément de questions en suspens, au point d'échouer à représenter ces phénomènes correctement. Son modèle n'est pas sans valeur, mais il manque de profondeur.

Pour combler les lacunes identifiées dans l'analyse conceptuelle de la TCC, j'ai proposé de nouvelles définitions des concepts de charge cognitive et de certains concepts connexes. Ces nouvelles définitions prennent en considération le rôle des opérations mentales dans les phénomènes de charge cognitive, ce qui est une forme de retour aux sources. Elles visent également à mieux départager certains concepts dont les frontières conceptuelles étaient poreuses ou mal définies, et à réduire tout risque de confusion en éliminant les incohérences et les ambiguïtés.

En plus de tenir compte des opérations mentales dans les définitions des types de CC, j'ai aussi proposé de redéfinir la CCI et la CCE en fonction des apprentissages attendus. Si des éléments ou des opérations contribuent aux apprentissages attendus, ils sont intrinsèques. S'ils ne contribuent pas aux apprentissages, ils sont inutiles. Aucun autre critère ne me semble nécessaire pour départager la CCE de la CCI.

L'évitement de la surcharge cognitive doit devenir le cœur de la TCC : les tâches et matériels proposés aux apprenants doivent optimiser la CCI tout en évitant la surcharge. Tant la CCE que la CCI sont des sources potentielles de surcharge, et des techniques existent pour éviter la surcharge tant en intervenant sur la CCE qu'en intervenant sur la CCI.

La CCI doit être considérée comme manipulable par design pédagogique. Elle est parfois même la seule sur laquelle nous avons une emprise, dans les situations où la CCE est irréductible.

Finalement, j'ai proposé des pistes de recherche permettant de tester mes propositions ou de poursuivre le travail d'analyse critique de la TCC.

Je crois que la TCC peut franchir une nouvelle période de développement qui la ramènera plus proche de ses origines quant à l'étude du traitement de l'information tout en ayant acquis une plus grande maturité conceptuelle. Plusieurs chercheurs semblent prêts à la faire évoluer dans ce même sens, ce qui est encourageant pour la suite des choses.

Chapitre 9 – Références

- Agostinho, S., Tindall-Ford, S., & Roodenrys, K. (2013). Adaptive diagrams: Handing control over to the learner to manage split-attention online. *Computers & Education, 64*, 52-62. doi:10.1016/j.compedu.2013.01.007
- Anderson, J. R. (1993). Problem solving and learning. *American Psychologist, 48*(1), 35-44. doi:10.1037/0003-066X.48.1.35
- Anderson, J. R., Matessa, M., & Lebiere, C. (1997). ACT-R: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction, 12*(4), 439-462.
- Ashman, G., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2020). Problem-solving or Explicit Instruction: Which Should Go First When Element Interactivity Is High? *Educational Psychology Review, 32*(1), 229-247. doi:10.1007/s10648-019-09500-5
- Assar, S. (2013, Apr 2013). *Pour une revue rigoureuse et systématique de la littérature en MIS : étude comparative et multidisciplinaire*. Paper presented at the AIM Workshop: Research Methods in Information Systems (RMiIS), Nantes, France.
- Bachelder, B. L. (2001). The magical number 4 5 7: Span theory on capacity limitations. *Behavioral and brain sciences, 24*(1), 116-117.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science, 255*(5044), 556-559.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47-89): Elsevier.
- Barr, R. B., & Tagg, J. (1995). From Teaching to Learning--a New Paradigm for Undergraduate Education. *Change, 27*(6), 12-25.
- Beckmann, J. F. (2010). Taming a beast of burden — On some issues with the conceptualisation and operationalisation of cognitive load. *Learning and Instruction, 20*, 250-264.
- Bredo, E. (2006). Conceptual confusion and educational psychology. In P. A. Alexander & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (2 ed., pp. 43-57): Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Brünken, R., Plaas, J. L., & Moreno, R. (2010). Current Issues and Open Questions in Cognitive Load Research. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R.

- Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (1 ed., pp. 253-272): Cambridge University Press.
- Brünken, R., Seufert, T., & Paas, F. (2010). Measuring Cognitive Load. In J. L. Paas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (1 ed., pp. 181-202): Cambridge University Press.
- Brusling, C. (2005). *Evidence-based practice in teaching and teacher education: What is it? What is the rationale? What is the criticism? Where to go now?* Retrieved from
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition & Instruction*, 8(4), 293. doi:10.1207/s1532690xci0804_2
- Chandler, P., & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233-246.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive : Théorie et applications*: Armand Colin.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4(1), 55-81. doi:10.1016/0010-0285(73)90004-2
- Chen, O., Castro-Alonso, J. C., Paas, F., & Sweller, J. (2018). Extending Cognitive Load Theory to Incorporate Working Memory Resource Depletion: Evidence from the Spacing Effect. *Educational Psychology Review*, 30(2), 483-501. doi:10.1007/s10648-017-9426-2
- Chen, O., & Kalyuga, S. (2020). Exploring factors influencing the effectiveness of explicit instruction first and problem-solving first approaches. *European Journal of Psychology of Education - EJPE (Springer Science & Business Media B.V.)*, 35(3), 607-624. doi:10.1007/s10212-019-00445-5
- Chen, O., & Kalyuga, S. (2021). Working Memory Resources Depletion Makes Delayed Testing Beneficial. *Journal of Cognitive Education & Psychology*, 20(1), 38-46. doi:10.1891/JCEP-D-20-00024
- Chen, O., Paas, F., & Sweller, J. (2021). Spacing and Interleaving Effects Require Distinct Theoretical Bases: a Systematic Review Testing the Cognitive Load and Discriminative-Contrast Hypotheses. *Educational Psychology Review*, 1-24. doi:10.1007/s10648-021-09613-w

- Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? *Computers in Human Behavior*, *25*(2), 315-324. doi:10.1016/j.chb.2008.12.020
- Clark, R. C., Nguyen, F., & Sweller, J. (2006). *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load* (1 ed.): Pfeiffer.
- Clark, R. E., Feldon, D. F., van Merriënboer, J. J., Yates, K. A., & Early, S. (2008). Cognitive task analysis. In *Handbook of research on educational communications and technology* (3rd ed., pp. 577-593): Routledge.
- Cooper, G., & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, *79*(4), 347-362. doi:10.1037//0022-0663.79.4.347
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain science*, *24*(1), 87-114.
- Davies, P. (1999). What is Evidence-based Education? *British Journal of Educational studies*, *47*(2), 108-121. doi:10.1111/1467-8527.00106
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, *38*(2), 105-134. doi:10.1007/s11251-009-9110-0
- Dixon, P. (1991). From Research to Theory to Practice: Commentary on Chandler and Sweller. *Cognition and Instruction*, *8*(4), 343-350.
- Gauthier, C., Bissonnette, S., & Bocquillon, M. (2020). Pour innover en pédagogie universitaire, faut-il rejeter ou améliorer l'enseignement magistral? *Enjeux et société: approches transdisciplinaires*, *7*(2), 129-155. Retrieved from <https://www.erudit.org/en/journals/enjeux/1900-v1-n1-enjeux05655/1073363ar.pdf>
- Gauthier, C., Bissonnette, S., & Richard, M. (2009). Passer du paradigme de l'enseignement au paradigme de l'apprentissage. Les effets néfastes d'un slogan ! In *Actes de la recherche de la HEP-BEJUNE - La recherche au service de la formation des enseignants* (Vol. 7, pp. 239-271).
- Gedda, M. (2015). Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie, la Revue*, *15*(157), 39-44. doi:<https://doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.004>

- George, P. M. (1973). Conceptualization: the Central Problem of Science. *Organon*, 9, 23-33.
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Cierniak, G. (2009). The Scientific Value of Cognitive Load Theory: A Research Agenda Based on the Structuralist View of Theories. *Educational Psychology Review*, 21(1), 43-54. doi:10.1007/s10648-008-9096-1
- Goldman, S. (1991). On the Derivation of Instructional Applications From Cognitive Theories: Commentary on Chandler and Sweller. *Cognition and Instruction*, 8(4), 333-342.
- Grimaldi, P., & Karpicke, J. (2012). When and why do retrieval attempts enhance subsequent encoding? *Memory & Cognition*, 40(4), 505-513. doi:10.3758/s13421-011-0174-0
- Hadie, S. N. H., Hassan, A., Mohd Ismail, Z. I., Ismail, H. N., Talip, S. B., & Abdul Rahim, A. F. (2018). Empowering students' minds through a cognitive load theory-based lecture model: A metacognitive approach. *Innovations in Education & Teaching International*, 55(4), 398-407. doi:10.1080/14703297.2016.1252685
- Halford, G. S., Maybery, M. T., & Bain, J. D. (1986). Capacity limitations in children's reasoning: A dual-task approach. *Child Development*, 616-627.
- Halford, G. S., Wilson, W. H., & Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral and brain sciences*, 21(6), 803-831. doi:10.1017/S0140525X98001769
- Hanham, J., Leahy, W., & Sweller, J. (2017). Cognitive Load Theory, Element Interactivity, and the Testing and Reverse Testing Effects. *Applied Cognitive Psychology*, 31(3), 265-280. doi:10.1002/acp.3324
- Hargreaves, D. H. (1999). Revitalising educational research: lessons from the past and proposals for the future. *Cambridge journal of education*, 29(2), 239-249.
- Hillard, J. L., & Sedaghat, A. M. (2021). Integrating conceptual and computational managerial accounting topics for student success. *Journal of Education for Business*, 96(5), 317-326. doi:10.1080/08832323.2020.1821343
- Hmelo-Silver, C. E., Golan Duncan, R., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to

- Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 42(2), 99-107.
- Horz, H., & Schnotz, W. (2010). Cognitive Load in Learning with Multiple Representations. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (1 ed., pp. 229-252): Cambridge University Press.
- Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1-19. doi:10.1007/s10648-010-9150-7
- Kalyuga, S., & Singh, A.-M. (2016). Rethinking the Boundaries of Cognitive Load Theory in Complex Learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 831-852. doi:10.1007/s10648-015-9352-0
- Kapur, M. (2008). Productive Failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379-424. doi:10.1080/07370000802212669
- Kapur, M. (2010). Productive failure in mathematical problem solving. *Instructional Science*, 38(6), 523-550. doi:10.1007/s11251-009-9093-x
- Kapur, M. (2011). A further study of productive failure in mathematical problem solving: unpacking the design components. *Instructional Science*, 39(4), 561-579. doi:10.1007/s11251-010-9144-3
- Kapur, M. (2012). Productive failure in learning the concept of variance. *Instructional Science*, 40(4), 651-672. doi:10.1007/s11251-012-9209-6
- Kapur, M., & Bielaczyc, K. (2012). Designing for Productive Failure. *Journal of the Learning Sciences*, 21(1), 45-83. doi:10.1080/10508406.2011.591717
- Kapur, M., & Kinzer, C. (2009). Productive failure in CSCL groups. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 4(1), 21-46. doi:10.1007/s11412-008-9059-z
- Karpicke, J. D., & Blunt, J. R. (2011a). Response to Comment on "Retrieval Practice Produces More Learning than Elaborative Studying with Concept Mapping". *Science*, 334(6055), 453. doi:10.1126/science.1204035
- Karpicke, J. D., & Blunt, J. R. (2011b). Retrieval Practice Produces More Learning than Elaborative Studying with Concept Mapping. *Science*, 331(6018), 772-775. doi:10.1126/science.1199327

- Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009). A Cognitive Load Approach to Collaborative Learning: United Brains for Complex Tasks. *Educational Psychology Review*, 21(1), 31-42. doi:10.1007/s10648-008-9095-2
- Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009). Individual and group-based learning from complex cognitive tasks: Effects on retention and transfer efficiency. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 306-314. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.008>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 41(2), 75-86.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano R, J. (2018). From Cognitive Load Theory to Collaborative Cognitive Load Theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213-233. doi:10.1007/s11412-018-9277-y
- Kuhn, D. (2007). Is Direct Instruction an Answer to the Right Question? *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 42(2), 109-113.
- Lawson, M. J. (1990). Critique: The Case for Instruction in the Use of General Problem-Solving Strategies in Mathematics Teaching: A Comment on Owen and Sweller. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(5), 403-410. doi:<https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.21.5.0403>
- Leahy, W., Hanham, J., & Sweller, J. (2015). High Element Interactivity Information During Problem Solving may Lead to Failure to Obtain the Testing Effect. *Educational Psychology Review*, 27(2), 291-304. doi:10.1007/s10648-015-9296-4
- Leahy, W., & Sweller, J. (2019). Cognitive Load Theory, Resource Depletion and the Delayed Testing Effect. *Educational Psychology Review*, 31(2), 457-478. doi:10.1007/s10648-019-09476-2
- Lechuga, M. T., Ortega-Tudela, J. M., & Gómez-Ariza, C. J. (2015). Further evidence that concept mapping is not better than repeated retrieval as a tool for learning from texts. *Learning and Instruction*, 40, 61-68. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.08.002>
- Likourezos, V., & Kalyuga, S. (2017). Instruction-first and problem-solving-first approaches: alternative pathways to learning complex tasks. *Instructional Science*, 45(2), 195-219. doi:10.1007/s11251-016-9399-4

- Locke, E. A. (2003). Good definitions: The epistemological foundation of scientific progress. In J. Greenberg (Ed.), *Organizational behavior: The state of the science* (2nd ed., pp. 395-425). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Machado, A., Lourenço, O., & Silva, F. J. (2000). Facts, Concepts, and Theories: The Shape of Psychology's Epistemic Triangle. *Behavior and Philosophy*, 28(1-2), 1-40.
- Machado, A., & Silva, F. J. (2007). Toward a richer view of the scientific method: The role of conceptual analysis. *American Psychologist*, 62(7), 671-681. doi:<https://doi.org/10.1037/0003-066X.62.7.671>
- Mawer, R. F., & Sweller, J. (1982). Effects of subgoal density and location on learning during problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(3), 252-259. doi:10.1037/0278-7393.8.3.252
- Maybery, M. T., Bain, J. D., & Halford, G. S. (1986). Information-processing demands of transitive inference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12(4), 600.
- Mayer, R. E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for Guided Methods of Instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14-19.
- Mayer, R. E., & Roxana, M. (2010). Techniques That Reduce Extraneous Cognitive Load and Manage Intrinsic Cognitive Load during Multimedia Learning. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (1 ed., pp. 131-152): Cambridge University Press.
- Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. *THE PSYCHOLOGICAL REVIEW*, 63(2), 81-97.
- Moreno, R. (2006). When worked examples don't work: Is cognitive load theory at an Impasse? *Learning and Instruction*, 16, 170-181. doi:doi:10.1016/j.learninstruc.2006.02.006
- Moreno, R. (2010). Cognitive load theory: more food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 135-141. doi:10.1007/s11251-009-9122-9
- Moreno, R., & Park, B. (2010). Cognitive Load Theory: Historical Development and Relation to Other Theories. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (1 ed., pp. 9-28): Cambridge University Press.

- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (Vol. 104): Prentice-hall Englewood Cliffs, NJ.
- Owen, E., & Sweller, J. (1985). What do students learn while solving mathematics problems? *Journal of Educational Psychology*, 77(3), 272-284. doi:10.1037/0022-0663.77.3.272
- Owen, E., & Sweller, J. (1989). Should Problem Solving Be Used as a Learning Device in Mathematics? *Journal for Research in Mathematics Education*, 20(3), 322-328.
- Ozcinar, Z. (2009). The topic of instructional design in research journals: A citation analysis for the years 1980-2008. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(4), 559-580.
- Paas, F., Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: New Conceptualizations, Specifications, and Integrated Research Perspectives. *Educational Psychology Review*, 22(2), 115-121. doi:10.1007/s10648-010-9133-8
- Paas, F., & Sweller, J. (2012). An Evolutionary Upgrade of Cognitive Load Theory: Using the Human Motor System and Collaboration to Support the Learning of Complex Cognitive Tasks. *Educational Psychology Review*, 24(1), 27-45.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 38(1), 63-71.
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., . . . Brennan, S. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *bmj*, 372(160).
- Plaas, J. L., Moreno, R., & Brünken, R. (Eds.). (2010). *Cognitive Load Theory* (1 ed.): Cambridge University Press.
- Randolph, J. J. (2009). A guide to writing the dissertation literature review. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 14(13), 1-13. Retrieved from <http://lemass.net/capstone/files/A%20Guide%20to%20Writing%20the%20Dissertation%20Literature%20Review.pdf>
- Richey, R. C., Klein, J. D., & Tracey, M. W. (2011). *The instructional design knowledge base: Theory, research, and practice* (R. C. Richey, J. D. Klein, & M. W. Tracey Eds.). New York, NY: Routledge.

- Schmidt, H. G., Loyens, S. M. M., van Gog, T., & Paas, F. (2007). Problem-Based Learning is Compatible with Human Cognitive Architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 42(2), 91-97.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1), 1-66. doi:10.1037/0033-295X.84.1.1
- Schnotz, W. (2010). Reanalyzing the expertise reversal effect. *Instructional Science*, 38(3), 315-323. doi:10.1007/s11251-009-9104-y
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A Reconsideration of Cognitive Load Theory. *Educational Psychology Review*, 19(4), 469-508. doi:10.1007/s10648-007-9053-4
- Schüler, A., Scheiter, K., & Genuchten, E. (2011). The Role of Working Memory in Multimedia Instruction: Is Working Memory Working During Learning from Text and Pictures? *Educational Psychology Review*, 23(3), 389-411. doi:10.1007/s10648-011-9168-5
- Schwepe, J., & Rummel, R. (2014). Attention, Working Memory, and Long-Term Memory in Multimedia Learning: An Integrated Perspective Based on Process Models of Working Memory. *Educational Psychology Review*, 26(2), 285-306. doi:10.1007/s10648-013-9242-2
- Schwepe, J., & Rummel, R. (2015). Attention and Long-Term Memory in System and Process Theories of Working Memory: A Reply to Soemer's (2015) Comment on Schwepe and Rummel (2014). *Educational Psychology Review*, 1-4. doi:10.1007/s10648-015-9336-0
- Shah, P., & Miyake, A. (1999). Models of Working Memory: An Introduction. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (pp. 1-27). Cambridge: Cambridge University Press.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological review*, 84(2), 127-190. doi:10.1037/0033-295X.84.2.127
- Simon, H. A. (1974). How Big Is a Chunk? By combining data from several experiments, a basic human memory unit can be identified and measured. *Science*, 183(4124), 482-488.

- Sithole, S. T. M., Chandler, P., Abeysekera, I., & Paas, F. (2017). Benefits of Guided Self-Management of Attention on Learning Accounting. *Journal of Educational Psychology, 109*(2), 220-232. doi:10.1037/edu0000127
- Soemer, A. (2015). The Multicomponent Working Memory Model, Attention, and Long-term Memory in Multimedia Learning: A Comment on Schweppe and Rummer (2014). *Educational Psychology Review, 1-4*. doi:10.1007/s10648-015-9303-9
- Sweller, J. (1983). Control mechanisms in problem solving. *Memory & Cognition, 11*(1), 32-40.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science, 12*(2), 257-285. doi:10.1207/s15516709cog1202_4
- Sweller, J. (1989). Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology, 81*(4), 457-466. doi:<https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.4.457>
- Sweller, J. (1990a). Cognitive Processes and Instruction Procedures. *Australian Journal of Education, 34*(2), 125-130.
- Sweller, J. (1990b). On the Limited Evidence for the Effectiveness of Teaching General Problem-Solving Strategies. *Journal for Research in Mathematics Education, 21*(5), 411-415.
- Sweller, J. (1993). Some cognitive processes and their consequences for the organisation and presentation of information. *Australian Journal of Psychology, 45*(1), 1-8. doi:10.1080/00049539308259112
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning & Instruction, 4*(4), 295-312. doi:10.1016/0959-4752(94)90003-5
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 43, pp. 216-266): Academic Press (Elsevier).
- Sweller, J. (2004). Instructional Design Consequences of an Analogy between Evolution by Natural Selection and Human Cognitive Architecture. *Instructional Science, 32*(1-2), 9-31.
- Sweller, J. (2008). Instructional Implications of David C. Geary's Evolutionary Educational Psychology. *Educational Psychologist, 43*(4), 214-216.

- Sweller, J. (2010a). Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. In J. L. Plaas, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (1 ed., pp. 29-47): Cambridge University Press.
- Sweller, J. (2010b). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. doi:10.1007/s10648-010-9128-5
- Sweller, J. (2016). Story of a Research Program. *Education Review // Reseñas Educativas*, 23. doi:10.14507/er.v23.2025
- Sweller, J. (2020a). Cognitive Load Theory and Educational Technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1-16.
- Sweller, J. (2020b). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research & Development*, 68(1), 1-16. doi:10.1007/s11423-019-09701-3
- Sweller, J. (2023). Discussion of the special issue on cognitive load theory. *British Journal of Educational Psychology*, 93(S2), 402-410. doi:<https://doi.org/10.1111/bjep.12606>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory* (1 ed.): Springer.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1991). Evidence for Cognitive Load Theory. *Cognition & Instruction*, 8(4), 351-362. doi:10.1207/s1532690xci0804_5
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185-233. doi:10.1207/s1532690xci1203_1
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119(2), 176-192. doi:10.1037//0096-3445.119.2.176
- Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59-89.
- Sweller, J., Kirschner, P. A., & Clark, R. E. (2007). Why Minimally Guided Teaching Techniques Do Not Work: A Reply to Commentaries. *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 42(2), 115-121.

- Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means–ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(5), 463-474. doi:10.1037/0278-7393.8.5.463
- Sweller, J., & Low, R. (1992). Some Cognitive Factors Relevant to Mathematics Instruction. *Mathematics Education Research Journal*, 4(1), 83-94.
- Sweller, J., Mawer, R. F., & Howe, W. (1982). Consequences of history-cued and means-end strategies in problem solving. *The American Journal of Psychology*, 455-483.
- Sweller, J., Mawer, R. F., & Ward, M. R. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112(4), 639-661. doi:10.1037/0096-3445.112.4.639
- Sweller, J., & Sweller, S. (2006). Natural Information Processing Systems. *Evolutionary Psychology*, 4(1), 147470490600400. doi:10.1177/147470490600400135
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tobias, S., & Duffy, T. M. (2009). *Constructivist instruction : success or failure?* [1 online resource (xi, 376 pages) : illustrations]. Retrieved from <https://doi.org/10.4324/9780203878842>
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*(1), 37-64.
- Valcke, M. (2002). Cognitive load: updating the theory? *Learning & Instruction*, 12(1), 147-154. doi:10.1016/S0959-4752(01)00022-6
- Valcke, M. (2011). Cognitive Load Theory: A Step Forward? *Educational Technology*, 51(3), 53-55.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2e ed.): De Boeck.
- van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177. doi:10.1007/s10648-005-3951-0
- Young, J. Q., ten Cate, O., O'Sullivan, P. S., & Irby, D. M. (2016). Unpacking the Complexity of Patient Handoffs Through the Lens of Cognitive Load Theory.

Teaching & Learning in Medicine, 28(1), 88-96.
doi:10.1080/10401334.2015.1107491

Zambrano, J., Kirschner, F., Sweller, J., & Kirschner, P. A. (2019). Effects of group experience and information distribution on collaborative learning. *Instructional Science*, 47(5), 531-550. doi:10.1007/s11251-019-09495-0

Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem solving. *Cognitive Science*, 21(2), 179-217.