

Séminaire
Activité et Instrumentation
de la
Conception

Mémoire d'étape

L'influence du choix des **matériaux** de construction sur la **charge cognitive** requise pour le travail de **conception** architecturale.



TIMOTHÉ LONNI
20121258
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
D'ARCHITECTURE DE PARIS-LA-VILLETTE

AURÉLIE DE BOISSIEU
FRANÇOIS GUÉNA

Sommaire

• Introduction	p.2
• État de l'art provisoire.	p.3
• Définitions	p.4
• Hypothèses de recherche	p.5
• Description des outils de mesure	p.5
• Préparation de l'expérience préliminaire	p.8
• Déroulement de l'expérience préliminaire	p.9
• Résultat de l'expérience préliminaire	p.10
• Résultat de la corrélation avec le questionnaire pré-expérimental	p.15
• Résultat du questionnaire NASA-TLX	p.15
• Retour et critique de l'expérience préliminaire	p.17
• Conclusion	p.19
• Bibliographie provisoire	p.20
• Annexes	
• Questionnaire pré-mémoire	p.21
• Questionnaire NASA-TLX	p.22

Introduction

«Comparer la charge cognitive propre à la conception architecturale selon deux matériaux de construction employés : le béton et le bois.»

La conception architecturale relève des activités créatives. C'est un processus de résolution de problèmes «ouverts» et «mal structurés» nécessitant de considérer un grand nombre de contraintes. La complexité de l'acte de conception implique que l'activité des architectes dépende énormément des ressources de la mémoire de travail. En effet, ce processus requiert des représentations internes (issus de la mise en œuvre d'un mécanisme cognitif) et externes (résultant l'utilisation de médias de conception). Ces représentations constituent un moyen de projection de la pensée de l'architecte et de son savoir faire.

Lors de l'idéation architecturale (le processus cognitif de production d'une idée), un dialogue constant entre les représentations internes et les représentations externes se déroulent dans la mémoire de travail alors que les capacités mnésiques pour traiter des nouvelles informations sont limitées.

La recherche actuelle soutient que les représentations mentales ont besoin de d'être extériorisées pour libérer la mémoire de travail^{4,5}. Maintenir, transformer, et inspecter ses représentations mentales peut surcharger cette mémoire. La littérature qu'il m'a été donné d'étudier^{2,3} a montré que cette mémoire n'était pas plus ou moins surchargé selon le médium de conception (esquisse, modelleur 3D, maquette...).

On est donc en droit de se demander **si les matériaux ont des propensions différente à surcharger la mémoire de travail.**

Pré-Mémoire : contenu

On rappellera l'enjeux de ce questionnement et ses conséquence

On présentera la méthodologie d'une pré-expérimentation en condition réelle réalisé ce semestre.

On effectuera un retour critique sur celle-ci pour déterminer les ajustement à opérer pour l'expérimentation réelle du semestre prochain.

On présentera un aperçu des résultats de cette expérimentation préliminaire pour montrer les types d'information que l'on peut en tirer.

Motivations du sujet.

Le choix des matériaux dans un projet d'architecture est soumis à des contraintes économiques, structurels, esthétiques entre beaucoup d'autres.

L'effort de réflexion fournis par le concepteur dépendant du matériau qu'il utilise n'entre pas en ligne de compte. Et cela s'entend tout à fait. On s'accorde sur le fait qu'il fait partie des devoirs du concepteur (architecte ou autre) de se donner les moyens de réaliser son design selon des critères qui manifestent mieux leurs conséquences à long terme. En clair, on leur demande de faire le même travail quelque soit le matériau.

Mais ignorer une différence d'effort à fournir selon le matériau choisi (si une telle différence existe) pourrait avoir des conséquences néfaste. Simplement pour la raison qu'ignorer n'importe quel facteur influençant une méthodologie de conception revient se refuser l'opportunité de l'améliorer et par là d'économiser de l'énergie, du temps, de la frustration, de l'angoisse, de l'argent...

Nous admettons en effet qu'un effort cognitif supplémentaire à produire se traduit soit dans un amoindrissement du traitement de tel ou tel qualité du projet ; soit d'une nécessité de temps de conception différencié selon le matériau.

Nous partons du pré-supposé qu'il existe bel est bien cette différence. L'expérience a pour partie vocation de montrer si nous avons raison ou tord à ce propos.

C'est dans le but de participer à une réflexion personnelle sur les modalité de l'idéation et la conception architecturale ; mais surtout de lui donner pour la première fois des exemples de construction solide pour la faire avancer, que nous menons ce mémoire.

Cette idée de recherche découle aussi d'une observation. De ce que j'ai constaté, les étudiants en école d'architecture subissent, de la part du système ainsi que d'eux même, une pression d'ordre temporelle pour réaliser leurs exercices de conception. Il faut produire des idées et des représentations rapidement. Souvent le temps alloué à la réalisation des pièces de restitutions (plans, maquettes, perspectives, etc...) prennent sur le temps de la conception. Si une conception sollicite une charge cognitive supplémentaire vis-à-vis d'une autre, le concepteur se voit trouver un intérêt à privilégier celle qui lui imposera un effort moindre. Si cet intérêt passe devant d'autres au détriment du projet, il y a là une source de dégradation de la qualité du projet.

Cette recherche contient donc une part -parmi d'autres- d'application à la pédagogie.

État de l'Art provisoire

Il relève de plusieurs domaines :

- Celui de la mesure de la charge cognitive
- Celui des performances et compétences relatives au design d'objets.

Dans le domaine de la conception architecturale, à notre connaissance aucune recherche n'a visé à mesurer et comparer *quantitativement* (comme avec le paradigme de la double tâche) l'influence de la charge cognitive sur le processus de de conception selon le matériau employé. Au niveau des mesures qualitatives, des travaux comme ceux de Bilda et Gero (2008)⁶ ont porté sur la charge cognitive afin d'analyser la quantité des idées générées. D'autres par les travaux de Dorta et Lesage. (2008)⁴ ont porté sur la charge cognitive afin d'analyser la quantité des idées générées dans le premier cas.

Ces travaux suggèrent que l'extériorisation des images mentales est nécessaire pour libérer de la mémoire de travail afin que les autres tâches puissent être mené efficacement. Pour cette raison, les représentations externes, (ou physiques comme le papier, les maquettes ou les modeleurs) jouent un rôle essentiel lors de la conception architecturale.

Dans ses travaux, Mohamed-Ahmed A., Côté P.³ conjuguent des mesures qualitatives et quantitatives pour comparer la charge cognitive selon le média de conception.

Bonnardel N., qui a également participé à ces recherches, se consacre entièrement par ailleurs à l'étude de la créativité avec des études spécifiquement tournées vers l'architecture parmi cinq autres domaines relevant des activités créatives¹.

Proche de ce domaine, Borillo M. et Goulette J-P. se livrent à une approche des processus de conception de formes sensibles dans des domaines d'activité esthétiques dont l'architecture à la lumière des sciences cognitives.

Définitions

Charge cognitive

Dans la présente recherche, la définition consensuelle et générale de Chanquoy et al. (2007) de la charge cognitive est retenue⁹.

Selon ces auteurs, la charge cognitive «correspond à une quantité, une mesure de l'intensité du traitement cognitif engagé par un individu particulier, possédant certaines connaissances et certaines ressources, pour réaliser une certaines tâche, d'une certaine manière, dans un certain environnement.»

Ressource cognitive

Énergie mentale disponible pour un individu particulier à un instant T pour une tâche donnée.

La charge cognitive en temps que grandeur est associée à une tâche. Elle ne dépend pas de l'individu qui la mène comme la ressource cognitive. La charge cognitive est une grandeur qui caractérise (qui est propre à) une tâche.

Pour autant, on ne sait pas en faire de mesure absolue. Elle n'a pas d'unité ni d'étalon. On peut la mesurer de manière relative. C'est à dire que nous pouvons dire que tel tâche représente plus de charge ainsi que dans quelle mesure elle en demande plus.

Certaines tâches cognitives représentent plus de charge cognitive que l'individu ne peut lui attribuer. On parle de surcharge cognitive.

Si quelque chose est chargé, il faut savoir quoi. Évidemment on parle du cerveau humain, de ses capacités cognitives. Mais nous pouvons être un cran plus précis.

Si le traitement des informations est utile à la créativité. Il est utile aussi pour la résolution des problèmes. Mais dans ce cas le facteur limitant est la mémoire.

Parmi la grande famille des types de mémoire que nous savons différencier aujourd'hui (Long terme [Implicite [Procédurale], [Émotionnelle], [Explicite [Épisodique], [Sémantique]])¹⁰ c'est une mémoire de court terme, unanimement dénommé «mémoire de travail» qui possède le rôle le plus important (car le plus limitant). On parlera de MDT. C'est cette ressource humaine qui nous intéresse.

Créativité :

Recherche d'idées nouvelles, originales et adaptées aux contraintes d'une situation.

Hypothèses

- I. «La charge cognitive propre à une tâche de conception architecturale diffère selon le matériau de construction associé à cette tâche.»
- II. «La charge cognitive propre à une tâche de conception architecturale est plus élevée lorsque le matériau de construction associé à cette tâche est le bois plutôt que le béton»

Description des outils de mesures.

Il existe deux types de mesures pour évaluer la charge cognitive d'un individu, que l'on peut regrouper en deux grandes familles : les mesures dites «**qualitatives**» et des mesures dites «**quantitatives**».

1. *Les mesures qualitatives* : Il s'agit des questionnaires que l'on remet aux sujets de manière pré et post-expérimentale, et qui servent à recueillir leurs impressions ou réactions quant à leurs performances.
 - a. Trois questionnaires sont particulièrement récurrents dans la littérature : le workload Profile, le S.W.A.T. (Subjective Workload Assessment) dans ce cas de demander à l'utilisateur de produire un jugement sur l'effort mental qu'il a investi dans la tâche. Ces questionnaires sont très utilisés car ils sont rapides et faciles à administrer. Un questionnaire comme le NASATLX est considéré comme le plus sensible et le plus fiable des mesures subjectives (Hills, 1992). Par ailleurs, il mesure 6 grandeurs : exigence physique, exigence temporelle, performance, effort et frustration (on y reviendra). Cela permet de rechercher lequel de ces paramètres aura pu causer une surcharge cognitive (Cegarra et Chevalier 2008)⁸.
 - b. Deux autres questionnaires seront soumis aux participants, l'un pré-expérimentation. Il servira à établir le profil du participant et son rapport comparatif vis-à-vis des matériaux de construction. Alors que nous considérerons les résultats «en brut» des mesures, nous nous essaierons également à pondérer les résultats grâce à ce questionnaire.
 - c. Le dernier questionnaire aura pour but de compléter et d'achever d'adapter le très standard NASATLX à la question que nous nous posons ici. Il portera sur le ressenti subjectif vis-à-vis de la perturbation de la «tâche secondaire», sur la méthode employée par le participant, sur les conditions de l'expérience...
2. *Les méthodes quantitatives* : La première catégorie de mesures quantitatives concerne des indices physiologiques tels que la dilatation pupillaire ou l'électrocardiographie (pression sanguine, volume sanguin, etc...). Ces indices physiologiques sont moins utilisés à cause de leurs caractères intrusifs (électrodes, confinement, etc.) et coûteux. Une autre méthode quantitative consiste à utiliser des techniques de tâches primaire (TP) ou secondaire (TS). On les appelle aussi des mesures «comportementales» ou «basées sur la performance». Les mesures de TP consistent à évaluer la performance dans l'exécution d'une TP comme par exemple le temps de réponse pour l'exécuter. Mais ce sont les études de TS ou double tâche qui sont les plus citées dans la littérature. Le principe de base de la technique de la TS est que les ressources affectées à celle-ci sont dépendantes de la quantité de ressources affectées à la TP; les ressources cognitives qui ne sont pas utilisées pour réaliser la TP, le sont pour la TS. La performance pour réaliser la TS peut servir d'index de mesure de la charge cognitive pour la

TP. Néanmoins, l'utilisation conjointe de certaines de ces mesures est recommandée pour permettre une mesure satisfaisante de la charge cognitive (Miyake, 2007).

NASA-TLX

National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index
Établi pour la première fois par Hart & Staveland en 1988.

La version papier du questionnaire se trouve en annexe 2 de ce dossier.

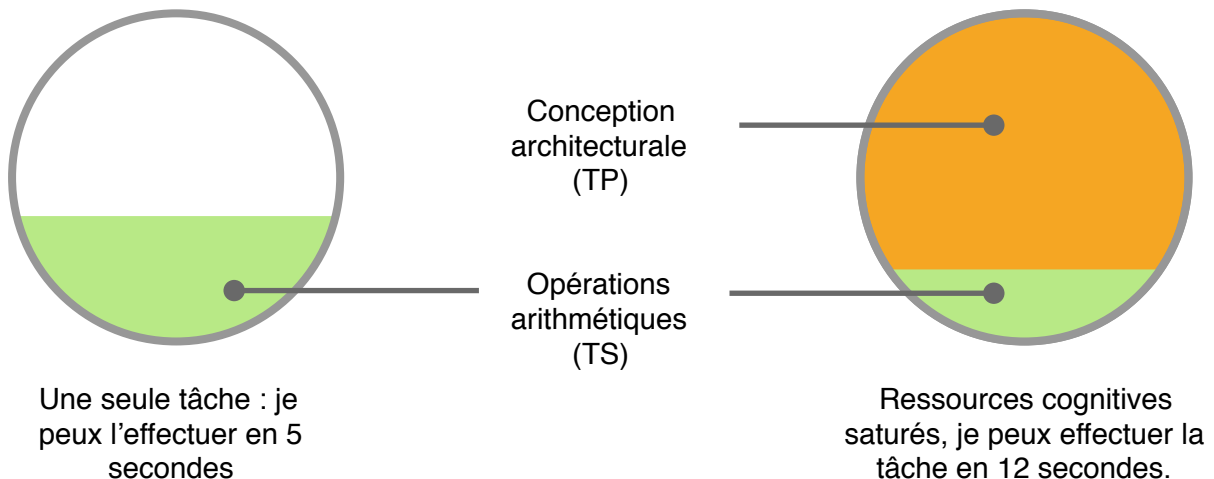
Les participants doivent évaluer l'amplitude de chacun des six facteurs de causes de charge cognitive sur des échelles linéaires. Ensuite, ils pondèrent ces six facteurs suivant une procédure de comparaison par paires (soit 15 paires à évaluer). La technique de calcul permet d'identifier les sources de charge de travail. Leur importance est prise en compte dans le calcul d'un taux global de charge.

«La méthode associe l'information sur ces différents facteurs de charge, tout en réduisant les sources de variabilité «interindividuelle» qui ne sont pas pertinentes et en faisant ressortir celles qui le sont.»² C'est simple et rapide et s'effectue à la fin de l'exercice de conception.

Les deux outils (paradigme de la tâche secondaire & questionnaire) mesurent différemment la grandeur qui nous intéresse. Ils se complètent. Ils sont considérés ni plus ni moins valides ou fidèles, l'un que l'autre. En revanche la Tâche Secondaire est plus sensible et plus sélectif que le NASATLX. Ce dernier, quand à lui, possède une faculté de diagnostique, et est moins intrusif et plus facile à mettre en œuvre que la Tâche Secondaire.³

Paradigme de la tâche secondaire

Fonctionnement, selon les fondements théoriques de la littérature scientifique, de l'attribution des ressources cognitives disponibles pour les charges issues des tâches de travail.



Représentation de la charge cognitive sollicitée au sein d'un ensemble : les ressources cognitives disponibles.

Une tâche (idéation architecturale) demande une charge cognitive qui dépasse les ressources disponibles. Un temps est nécessaire pour allouer des ressources à cette tâche. La charge nécessaire à la tâche secondaire ne peut être allouée, la tâche est exécutée plus lentement.

Plusieurs méthodes et plusieurs outils auront été explorés pour mesurer les performances à l'exécution d'une tâche secondaire.

Celle employé pour cette expérience préliminaire sera très différente de celle de l'expérience réelle.

Nous présentons trois outils différents.

Pour l'expérience préliminaire, nous avons utilisé un outil de messagerie instantané augmenté d'un chronomètre précis au centième de seconde synchronisé avec les dates d'envoi et de réception des questions et des réponses.

Les mesures sont reportés, et catalogués manuellement dans des tableaux préparés à cet effet avant l'expérience.

Deux pistes principales ont été explorés pour élaborer un outil entièrement automatisé.

- J'ai longtemps cru que je réaliserais l'expérience avec un participant à la fois. Je lui aurais prêté donc mon matériel que j'aurais sévèrement contrôlé. Ça aurait donc été un outil développé sur une plate-forme mobile (smartphone) dans son langage natif. L'avantage c'est qu'il me manquait peu de connaissance pour réaliser un tel outil. L'inconvénient est que cela restreint l'utilisation de cet outil à très peu de supports matériel.
- Comme nous le verrons plus tard, il y aura peut-être nécessité d'utiliser un outil (logiciel) capable de s'exécuter dans n'importe quelle condition. Pour cette raison, l'autre piste est celle d'une application web.
Nous profiterons soit d'une longue et ancienne expérience de l'animation et du développement Flash™ et actionscript ; soit de connaissances en cours de constitution du développement de web-app avec Apache Cordova (open-source) en HTML, CSS et JavaScript. Dans les deux cas, l'outil de mesure serait en ligne et s'exécuterait via un navigateur.

CAPTURE D'ÉCRAN DE LA SOLUTION LOGICIELLE COMMENCÉ POUR L'EXPÉRIENCE FINAL. (LANGAGE SWIFT POUR IOS, ICI SUR UN SMARTPHONE)

The screenshot shows a mobile application interface for a calculator. At the top, a grey bar contains the mathematical expression $5-2+8-4$. To the right of this bar is an orange button labeled "Valider". Below the expression bar is a white input field with a vertical cursor. At the bottom, there is a numeric keypad with buttons for digits 1-9, 0, and a backspace button (represented by a square with an 'x' and a left arrow). Each digit button also has its corresponding letters (e.g., 2 has ABC) listed below it.

5-2+8-4		Valider
<input type="text"/>		
1	2 ABC	3 DEF
4 GHI	5 JKL	6 MNO
7 PQRS	8 TUV	9 WXYZ
	0	

Préparation de l'expérience préliminaire

Profil des participants selon le questionnaire pré-expérimentation.

Ce questionnaire se trouve en version papier en annexe 1 de ce dossier ou en version web tel qu'il a été présenté aux participants à l'adresse :

<http://goo.gl/forms/CNx36Hc2UM9Ox7I2>

Quatre étudiants en architecture ont participé à cette recherche. Tous les participants ont déjà effectué plusieurs exercices avec chacun des matériaux testés. Ils sont nés entre janvier 1989 et juillet 1994. Ils sont tous en quatrième année d'étude en architecture.

Les sujets d'exercice de conception

Rédaction de l'énoncé.

La formulation de l'exercice est comme les autres éléments des conditions de l'expérience : elle influence fortement la manière dont le participant mènera son exercice.

L'idéation se fera sur papier

Le matériau est imposé

28 minutes d'idéation, recherche, conception, design.

12 minutes de représentation du design.

On attend une réflexion d'abord sur la structure, puis sur l'esthétique,

Énoncé

Nous avons fait passer une urne contenant deux papier avec inscrit un nom de matériau différent. Cette urne a été présentée aux uns après les autres jusqu'à ce que l'on puisse déterminer un matériau pour chacun avec autant de concepteur pour chacun des matériaux. Dans notre cas, deux tirage ont suffi. Selon le résultat de chaque tirage, trois auraient pu être nécessaire.

Dans cette expérience simplifié, tout les participants ont reçu le même sujet de micro-architecture.

Énoncé 1 :

«Concevez un pavillon d'exposition à flanc de falaise pour la prochaine exposition»

Concevez le comme vous avez l'habitude de le faire pour n'importe quel exercice d'architecture.

Sans y consacrer votre attention toute entière vous prêterez plus particulièrement attention à la structure porteuse puis au revêtement.

Vous avez 28 minutes pour concevoir, imaginer, inventer, rechercher, faire la phase esquisse du projet.

Au bout de ces 28 minutes vous disposerez de 12 minutes pour représenter votre projet de manière à le rendre compréhensible.»

Cet énoncé était suivi selon le papier tiré de l'urne de :

«Votre matériau imposé est le bois» ou «Votre matériau imposé est le béton»

Une présentation visuelle d'un gabarit maximum agrémenté de quelques cotes était présenté de manière à donner la bonne mesure à la réponse du participant et le conforter dans la recherche d'une solution de nature «micro-architecture».

Pour augmenter la taille de l'échantillon nous poserons pour l'expérience final du dernier semestre deux sujet plutôt qu'un seul. Chaque participant fera un exercice avec le matériau bois puis avec le matériau béton. Le même jour ou des jours différents. Mais pour ne pas risquer que «l'habitude» acquise après une première expérience augmente ses performance lors de la deuxième, son sujet d'exercice sera différent.

De plus les résultats comparés entre les deux sujet pourrons nous conforter ou nous remettre en question quand à la fiabilité de la méthodologie.

Préparation des outils de mesure.

Le tableau suivant a été construit en préparation de l'expérience.

Il permet de connaître l'instant auquel est envoyé chaque opération aux participants.

Il a permis également de déduire quels opérations et à qui les afficher avant le début du test pour étalonner les appareils de mesure et obtenir des mesures (de temps en secondes) de références. En effet aucune question ne doit être posée deux fois pour un même participant. Certaines questions sont donc extraites de l'expérience pour être posées au préalable (lignes «Pré test» du tableau suivant). Ainsi on peut disposer à la fois d'un temps de référence pour chaque opération et éviter les doublons.

Nous comparerons ces temps de références où les ressources cognitives étaient disponibles aux temps mesurés pendant la conception architecturale.

Tableau des opérations posées dans le temps

Tableau d'organisation

	«Gher'»	«FSM»	«Lysle»	«Law»	Résultats
Pré test 1	6+2-5+4	3+9-6+3	7-4+8-2	5-2+8-4	=
Pré test 2	9+3-8+4	4+6-2-7	2+7-5+3	5+3-4+1	
3:30		6+2-5+4	6+2-5+4	6+2-5+4	7
7:00	3+9-6+3		3+9-6+3	3+9-6+3	9
10:30	7-4+8-2	7-4+8-2		7-4+8-2	9
13:00	5-2+8-4	5-2+8-4	5-2+8-4		7
17:30		9+3-8+4	9+3-8+4	9+3-8+4	8
21:00	4+6-2-7		4+6-2-7	4+6-2-7	1
24:30	2+7-5+3	2+7-5+3		2+7-5+3	7
28:00	5+3-4+1	5+3-4+1	5+3-4+1		5

Expérience préliminaire

Les participants se sont tout d'abord vu remettre le questionnaire pré-expérimental.

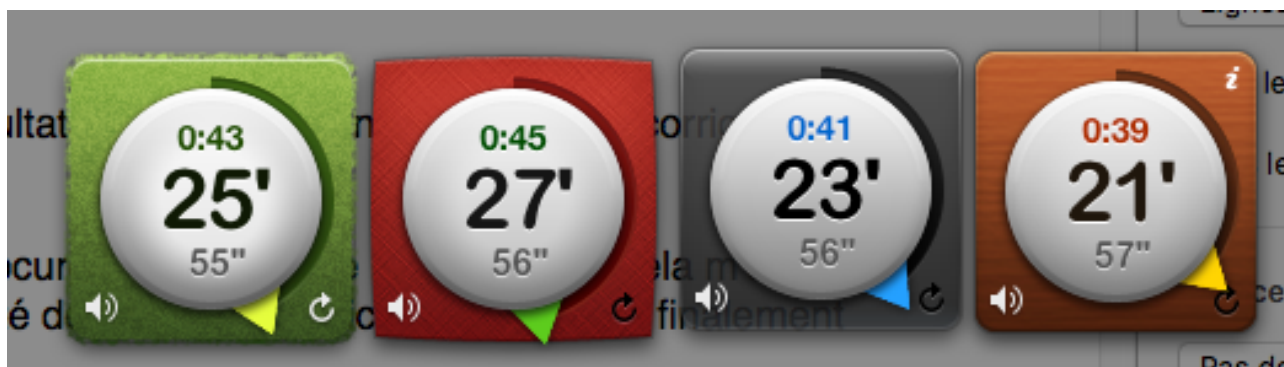
Une expérimentation a été menée sur un échantillon réduit. Elle se veut d'approcher la méthodologie qui sera finalement employé pour produire l'enveloppe de données destinées à répondre aux interrogations de ce mémoire.

Puis vint la phase où nous demandons à chacun de se détendre, de lâcher son travail, ses préoccupations puis se voir recevoir la notification d'une première opération à résoudre. Ce sont les opérations de pré-test, d'étalonnage et servant à obtenir les temps de référence. Ces temps serviront à pondérer les temps de réaction afin d'éliminer le biais issu du fait que les opérations sont différentes. Elle servent accessoirement à essayer de déceler d'autres biais.

Chaque participant s'est vu remettre une égale quantité de feuilles de brouillon. Ils utilisent leur propre matériel de dessin après vérification que tous sont suffisamment similaires.

À la découverte du sujet, on s'assure qu'il est bien compris.

Étant donnée la partie manuelle de la méthode de saisie des mesures de temps de la tâche secondaire, les tops départs des exercices sont données aux participants avec 2 minutes de décalage. Ainsi, l'envoi des opérations arithmétiques s'effectue au même instant pour chaque participant dans son référentiel de temps. Par exemple l'opération 3 sera envoyée à «Law» à 4 minutes pour lui soit 4 minutes pour l'examineur, tandis qu'elle sera envoyée à 6 minutes pour ce dernier à «Lysle» soit 4 minutes pour elle puisqu'elle a commencé 2 minutes après «Law». Cela diminue les risques de surcharge cognitive de l'examineur lui-même et donc de prendre des mesures erronées. Ce principe pourrait disparaître lorsque la mesure sera entièrement automatisée.



MINUTAGE DE CHAQUE EXERCICE EN COURS POUR MONITORING PAR L'EXAMINATEUR.

Il est demandé aux participants de se servir de leurs smartphones pour minuter l'exercice, et leurs permettre d'organiser leurs temps. Cela constitue aussi pour l'examineur une sécurité supplémentaire si ce minutage corrobore le sien en fin d'exercice.

Résultats de l'expérience préliminaire :

Au cours de l'expérience, les résultats (temps de réponse en secondes et centièmes) sont comptabilisés dans le tableau suivant.

Les couleurs font toujours références aux mêmes opérations arithmétiques, on peut donc s'en servir pour suivre une donnée au cours de son traitement.

Bibliothèque des résultats

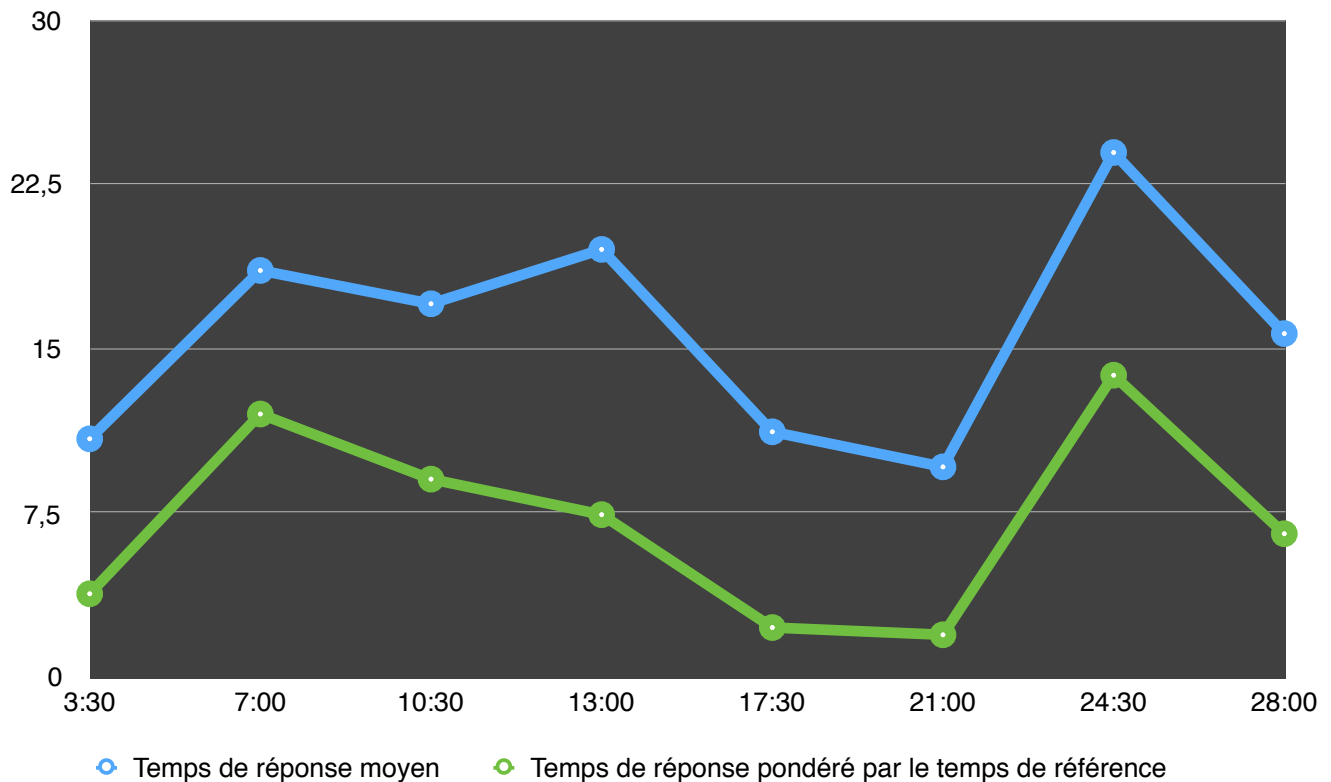
	«Gher³»	«FSM»	«Lysle»	«Law»	Moyennes		
	Bois		Béton		Bois	Béton	Totale
Index	Temps en secondes.						
Pré test 1	7,07	6,55	8,00	12,10	6,81	10,05	8,43
Pré test 2	8,93	7,66	10,16	9,13	8,30	9,65	8,97
3:30		10,05	10,38	12,20	10,05	11,29	10,88
7:00	19,46		11,20	25,01	19,46	18,11	18,56
10:30	19,20	18,65		13,28	18,93	13,28	17,04
13:00	25,70	20,20	12,65		22,95	12,65	19,52
17:30		12,15	9,80	11,66	12,15	10,73	11,20
21:00	10,08		8,60	10,13	10,08	9,37	9,60
24:30	25,35	6,20		40,26	15,78	40,26	23,94
28:00	28,38	8,71	9,95		18,55	9,95	15,68
Moyenne	21,36	12,66	10,43	18,76	17,01	14,59	15,80

Dans le tableau ci-dessus, l'analyse de la mesure par le paradigme de la tâche secondaire commence. Il permet de calculer la différence du temps de référence par le temps de réponse durant l'expérience. Pour cette pré-expérience de fin de semestre l'échantillon ne pas de considérer les mesures et cette comparaison entre référence et mesure comme fiable. Mais pour essayer d'y interpréter le mieux possible les informations on regardera dans le temps l'évolution du temps de réponse **absolu** (directement corrélé à la charge cognitive dédié à la conception) ainsi que le temps de réponse **au regard du temps de référence** lorsque les participants n'avaient qu'une seule tâche (principale donc) à accomplir : répondre à l'opération.

Temps de réponse, résultats globaux

Opérations & Instant posé.		Temps de référence	Temps moyen général	Différence générale
En minutes		Temps en secondes		
6+2-5+4	3:30	7,07	10,88	3,81
3+9-6+3	7:00	6,55	18,56	12,01
7-4+8-2	10:30	8,00	17,04	9,04
5-2+8-4	13:00	12,10	19,52	7,42
9+3-8+4	17:30	8,93	11,20	2,27
4+6-2-7	21:00	7,66	9,60	1,94
2+7-5+3	24:30	10,16	23,94	13,78
5+3-4+1	28:00	9,13	15,68	6,55
Moyenne		8,70	15,80	7,10

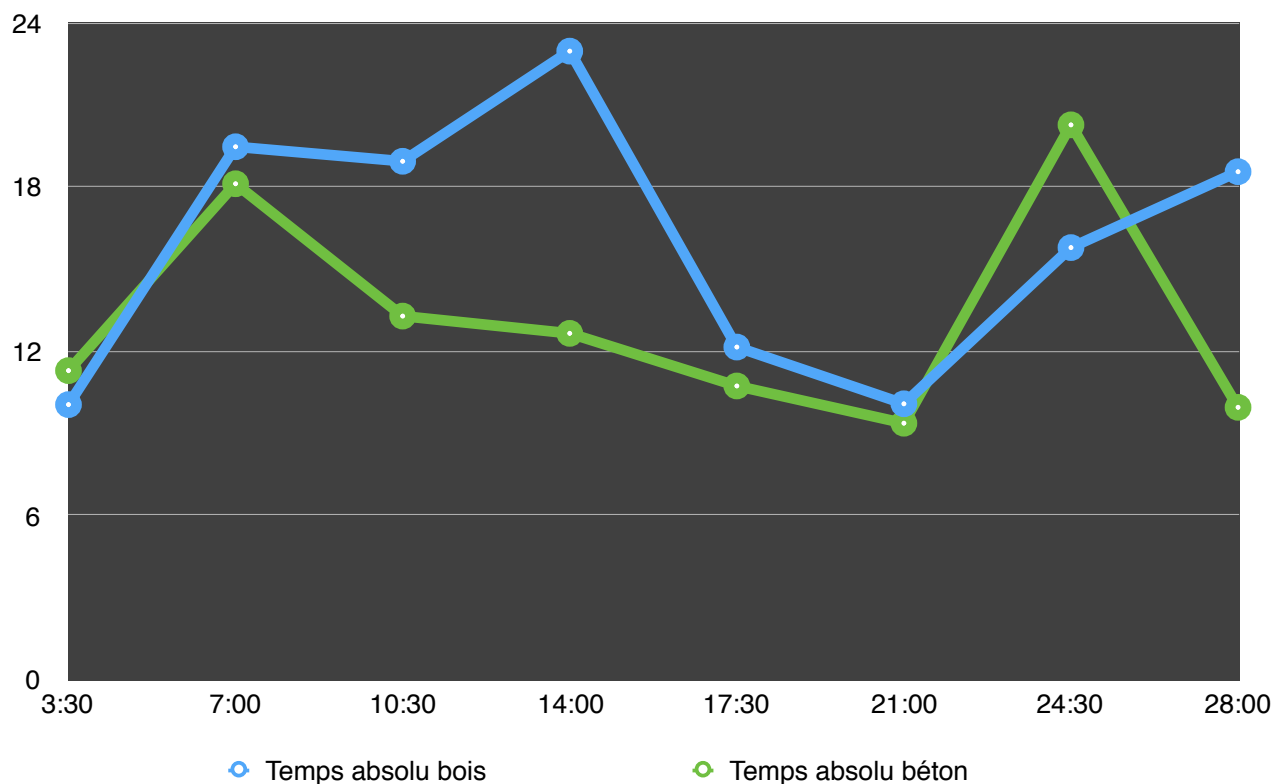
Saturation cognitive générale dans le temps



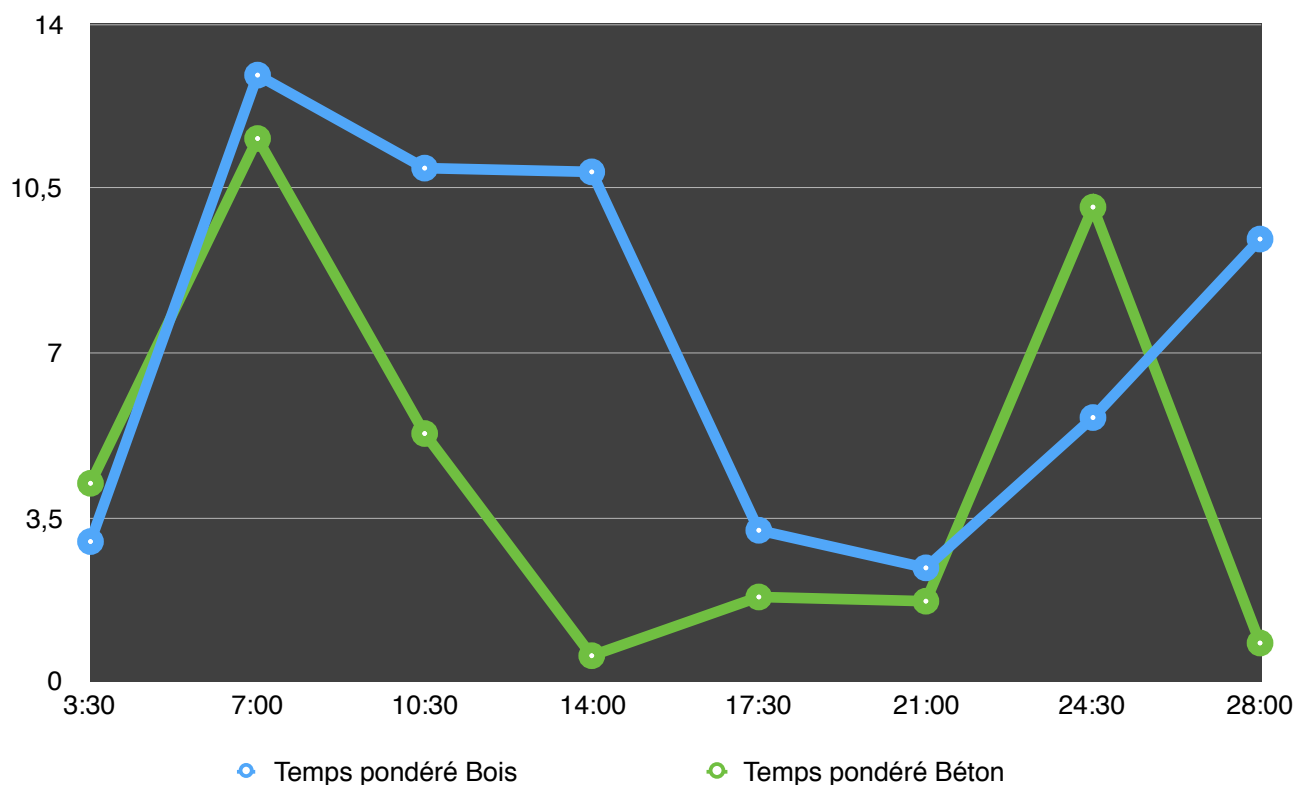
Temps de réponse, résultats par matériau

Opérations & Instant posé.		Temps de référence	Temps moyen bois	Différence bois	Temps moyen béton	Différence béton	
Instant en minutes		Temps en secondes					
6+2-5+4	3:30	7,07	10,05	2,98	11,29	4,22	
3+9-6+3	7:00	6,55	19,46	12,91	18,11	11,56	
7-4+8-2	10:30	8,00	18,93	10,93	13,28	5,28	
5-2+8-4	13:00	12,10	22,95	10,85	12,65	0,55	
9+3-8+4	17:30	8,93	12,15	3,22	10,73	1,80	
4+6-2-7	21:00	7,66	10,08	2,42	9,37	1,71	
2+7-5+3	24:30	10,16	15,78	5,62	20,26	10,10	
5+3-4+1	28:00	9,13	18,55	9,42	9,95	0,82	
Moyenne		8,70	15,99	7,29	13,21	4,51	

Saturation cognitive par matériau
Temps de réponse absolu mesuré



Saturation cognitive par matériau Temps de réponse pondéré par le temps de référence



Bonnes réponses

Opération & Instant		«Gher'»	«FSM»	«Lysle»	«Law»
6+2-5+4	3:30	7,07	10,05	10,38	12,20
3+9-6+3	7:00	19,46	6,55	11,20	25,01
7-4+8-2	10:30	19,20	18,65	8,00	13,28
5-2+8-4	13:00	25,70	20,20	12,65	12,10
9+3-8+4	17:30	8,93	12,15	9,80	11,66
4+6-2-7	21:00	10,08	7,66	8,60	10,13
2+7-5+3	24:30	25,35	6,20	10,16	40,26
5+3-4+1	28:00	28,38	8,71	9,95	9,13
Moyenne		94 %	87 %	100 %	56 %
Légendes					
28,38	28,38	Bonne réponse			
19,46	19,46	Bonne réponse apportée après autocorrection spontanée.			
10,13	10,13	Mauvaise réponse			
		Temps de référence obtenu pré-expérience			

Le tableau des bonnes réponses catalogue les opérations pour lesquels le participant a fourni une réponse fautive. (Le tableau de préparation cataloguait les bonnes réponses par anticipation). Nous ne savons pas encore comment interpréter ces données. On voit dans ce tableau qu'un tiers des mauvaises réponses ont été produites lors de la phase d'acquisition des temps de référence. Cela suggère que la pression de la tâche principale ne suffit pas à expliquer les mauvaises réponses. Il y a sûrement une manière de traiter ces données. On s'intéresse surtout aux temps qu'il a fallu aux participants pour produire leurs réponses qu'elles soient bonnes ou mauvaises. Nous partons du pré-supposé que l'effort pour produire une réponse fautive ou juste est très similaire voire négligeable au regard de la consigne qui a été claire et plusieurs fois répétée sollicitant des participants qu'il fassent l'effort de produire une réponse juste. On notera que le participant qui a produit le plus de réponses fautes (44%) est celui qui a annoncé avoir conclu son exercice le plus vite. Si l'échantillon n'était pas infiniment petit, on en conclurait qu'il a su se concentrer sur sa tâche principale plutôt que sur la tâche secondaire de façon plus importante que les autres.

Résultats des corrélations «Tâche secondaire - Questionnaire pré-expérimentation»

Nous ne statuerons que succinctement sur ce que ce questionnaire nous apprend des participants. En revanche nous revenons plutôt sur le type de corrélation que nous pouvons faire avec les autres mesures et ainsi sur les types de données que nous pouvons produire par croisement.

Voici quelques exemples parmi beaucoup d'autres de conclusions que nous sommes capables de tirer de la corrélation du paradigme de la TS et du questionnaire pré-expérience (profil).

Parmi les matériaux structurels, le bois, le béton, et l'acier sont les trois matériaux à avoir été les plus utilisés par deux participants sans que l'un des matériaux ne se détache des trois autres. En revanche, les deux autres participants déclarent que le béton est le matériau qu'ils ont le moins utilisé tandis que l'acier, et le bois figureront parmi les 4 matériaux qu'ils ont le moins utilisés sur 8 proposés au cours de leurs cursus.

Concernant uniquement le bois et le béton :

Trois participants sur quatre déclarent avoir plus utilisé le bois comme matériau structurel que le béton. Alors soit cet échantillon très réduit n'est pas représentatif, soit notre idée pré-conçue à ce sujet était fautive.

Il en va de même pour le bois comme matériau de parement.

En revanche il y a autant de participants qui déclarent avoir eu plus de temps de cours consacré à l'usage du bois que du béton que l'inverse.

Nous relevons la même proportion (1/2) quand on demande sur lequel des deux matériaux (et les 6 autres) le participant pense avoir le plus haut degré de connaissance.

Par le jeu du hasard, pour deux étudiants ayant reçu l'un des deux matériaux à manipuler pour l'expérience, l'un était plus familier sur ce matériau tandis que l'autre était plus familier sur l'autre.

Tout bien réfléchi c'est un hasard heureux. Nous songeons pour l'échantillon de l'expérience finale à envoyer autant d'étudiant plus expérimenté sur un matériau que d'étudiant moins expérimenté que sur l'autre.

Résultat du questionnaire NASA-TLX

Le questionnaire se trouve sous version papier en annexe 2 de ce dossier et en version web interactif à l'adresse : <http://www.keithv.com/software/nasatlx/nasatlx.html>

Retranscription des résultats nasa-tlx

	«Gher'»	«FSM»	«Lylse»	«Law»
Exigence mentale				
Rating	75	100	75	60
Tally	4	5	4	2
Weight	0,266	0,33	0,266	0,133
Exigence temporelle				
Rating	65	50	100	70
Tally	5	2	5	2
Weight	0,333	0,133	0,333	0,133
Perfomance				
Rating	80	50	25	75
Tally	3	4	2	4
Weight	0,2	0,266	0,133	0,266
Effort				
Rating	40	50	80	5
Tally	2	3	2	2
Weight	0,133	0,2	0,133	0,133
Frustration				
Rating	60	50	55	25
Tally	0	1	2	3
Weight	0	0,667	0,133	0,2
Overall	66,333	66,666	74,666	50,333

Je suis au regret de concéder que je ne suis pas encore capable déduire quoique ce soit de ces résultats. Les documentations sur ce test ne manquent pas, si j'ai bien appris le peu qu'il faut pour l'administrer et pour connaître ses mérites, je n'ai pas terminé les chapitres «analyse».

Le temps de comprendre comment faire des calculs de variances (ANOVA) et d'utiliser des formules de cette apparence :

$$\begin{cases} H_0 : m_1 = m_2 = \dots = m_k = m \\ H_1 : \exists(i, j) \text{ tel que } m_i \neq m_j \end{cases} \quad SCE = \sum_{ijk\dots} (y_{ijk\dots} - \bar{y})^2 \quad \text{et} \quad S_{n-1}^2 = \frac{SCE}{n-1}$$

Mais je n'en suis pas loin.

Retour et critique de l'expérience préliminaire.

Cette expérience se voulait de tester en condition réel ce que sera l'expérimentation finale de ce mémoire. Ainsi nous pouvons tirer des leçons de ce coup d'essai pour réaliser la vrai.

L'évaluation de la mesure du temps de réponse des participants par le système des opérations arithmétiques.

Le système des opérations à résoudre pour exécuter le paradigme de la double tâche doit être remis en cause.

Premièrement, je savais que la mesure du temps de réaction serait plus imprécise lors de la pré-expérience que lors de l'expérience réelle. Avec la solution logicielle et matérielle qui seront parachevés, j'escompte une précision de l'ordre du millième de seconde au moins. Selon ce que j'ai retenu des conférences du Collège de France sur les neurosciences appliqués à l'éducation par Stanislas Dehaene¹⁰, plus de précision serait parfaitement superflue si ce n'est pas déjà le cas avec le millième de seconde.

Lors de cette expérience préliminaire, la précision de la mesure était de l'ordre de 4 dixièmes de secondes.

Ceci sans compter les légères différence de conditions dans lesquelles se sont trouvés les participants qui sont source de (très faible) biais.

Deuxièmement, deux opérations identiques ne peuvent être présentées au participant. Je pars du principe qu'une opération posée une seconde fois après un temps de l'ordre de quelques minutes sera résolue plus rapidement que la première fois grâce à quelques propriétés de la mémoire. Cela constitue donc un biais majeur qui invalide toute la mesure.

Hors, par ailleurs, deux opérations arithmétiques différentes peuvent être plus ou moins difficiles et donc rapides à résoudre. Ce phénomène est valable même pour des différences infime. En effet mon expérience personnelle m'indique que je soustrait d'un nombre 5 ou 2 plus rapidement de 3 ou 4. Je ne peux prétendre donc que deux opérations prendrait autant de temps à résoudre à tout paramètres par ailleurs égales. Nous nous retrouvons donc face à un autre biais.

Et de l'autre côté, plus deux opération se ressemble, plus l'effet mémoire qui permet de répondre plus vite à une seconde opération semblable à une première entre ligne de compte. On se retrouve coincé entre deux sources de biais qu'il faudra peut-être régler en changeant la nature de la question posée au participant.

Un autre système a été envisagé, je l'appelle la «méthode des deux nombres».

Il consiste à faire porter aux participants un casque qui diffuse à intervalle régulier tout au long de l'expérience deux nombres espacés de 5 secondes. Le participant doit appuyer sur une pédale si les deux nombres entendus sont les mêmes. Dans la littérature que j'ai parcouru c'est une méthode qui a été utilisé une fois. Son argument était que les participants n'avait pas à se libérer les mains de leurs tâche pour activer l'interface entre lui et l'instrument de mesure : il utilisait une pédale avec le pied. Si, comme je le pense j'adopterai ce système, je veillerais à réaliser une pédale énorme que l'on ne risque pas de perdre sous la table.

Ce système «des deux nombres» a beaucoup d'avantage sur celui des «opérations arithmétiques» sauf un à mon sens :

Le système des deux nombres a besoin d'un très cours temps de travail cognitif par rapport au système des opérations. C'est un défaut dans le sens où plus la grandeur à mesurer est faible pour un même outil de mesure plus il est difficile d'effectuer cette mesure précisément. Mesurer 4

millimètres avec un mètre ruban de 5 mètres de long c'est plus compliqué que mesurer 10 centimètres avec le même outil de mesure.

Peut-être puis-je améliorer l'un des deux systèmes. Soit en rallongeant le temps de traitement de la question des deux nombres. Est-ce nécessaire si j'obtiens effectivement le degré de précision que j'espérais avec mon outil de mesure final (précis au millième) ? Soit en trouvant un système d'opération ou de comparaison sans effet mémoire.

La réponse se trouve peut-être à mi-chemin entre les deux systèmes.

Matériel physique

J'ai sollicité les participants pour qu'ils utilisent leurs propres ordinateurs portables pour me permettre de mesurer leurs temps de réaction. Il y avait des machines très diverses opérant sous des systèmes d'exploitations différents. Cela a montré la possibilité de dysfonctionnements. Un écran présentait les informations sous formes trop petites avant réglage. Deux machines ont fait défaut de notifications de l'arrivée des opérations arithmétiques à traiter par le participant en phase de préparation avant d'être arrivés. Il faudra se souvenir de s'assurer que la solution logicielle développée pour l'expérimentation du dernier semestre s'adapte au plus grand nombre de supports possible. C'est pour cette raison que je prendrais le temps de revenir au développement sous paradigme web-app. J'élaborerais probablement une check-list lors de l'installation de chaque participant pour s'assurer du bon fonctionnement du matériel.

Bien entendu il ne sera pas non plus impossible de profiter d'une salle informatique. En attendant d'avoir la certitude de pouvoir en profiter je préfère continuer de travailler en pensant que je ne m'en servais pas.

Bagage de connaissance du participant.

C'est une question primordiale, la plus importante encore non résolue.

La question se posait de savoir si l'on fournissait une base de connaissance commune aux participants avant de débiter l'expérience. Cela revenait à se poser une question beaucoup plus large :

Interrogeons nous uniquement le matériel comme facteur de surcharge cognitive ? Ou interrogeons nous également -en plus- les facilités ou les difficultés propres à l'étudiant avec un matériel vis-à-vis de l'autre ?

Traitons nous uniquement ce que le matériel a de propre de surcharger la mémoire de travail ? Traitons nous aussi la manière dont notre société, notre éducation, notre culture incite, nous habitue, nous oriente vers un matériel plutôt que l'autre ?

Le premier cas, qui ne s'intéresse qu'à la caractéristique du matériel, est plus difficile à traiter (pour autant que cela soit un argument) tant les biais sont nombreux. Ou il faut revoir la nature de l'expérience. Comment décharger les participants de la pratique, des cours et de l'expérience qu'ils ont déjà de manière privilégiée envers un matériel plutôt que l'autre.

Dans l'autre cas nous interrogeons plus largement (et plus facilement) la manière déséquilibrée dont sont enseignés les usages des matériaux aux étudiants. Je veux dire qu'il est peut-être intéressant de laisser complètement les participants effectuer l'exercice chargés de leurs expériences de projets plutôt favorables à un matériel que l'autre. On pourrait prétendre à recevoir une partie de portrait de l'expérience des étudiants pour tels ou tels matériaux.

Autres observations inattendues

Les participants ont tendance à revoir leurs résultats après l'avoir envoyé et s'auto-corrigent.

L'auto-correction requiert des tâches cognitives supplémentaires qu'a choisi seul le participant de s'imposer. Il leur a bien été précisé que la vitesse était le premier critère même si est sollicité que sa réponse soit juste.

Recevoir une mauvaise réponse étant moins grave que mesurer le temps qu'il a fallu pour la produire, j'ai choisi de considérer et comptabiliser le temps de réponse pour la réponse fautive que pour la réponse juste qui suivait.

Donc les participants vérifient leurs réponses après l'avoir envoyé. L'expérience et sa mesure ne disent pas s'ils la vérifient (au moins en partie) avant de l'envoyer. On pré-suppose que non. J'ajouterais donc cette question au questionnaire post-expérience si je conserve cette méthode des calculs.

Conclusion

Plusieurs signes montrent que les prises de mesures sont plus précises que je ne l'espérais. Aucune difficulté conséquente ne semble se dresser devant moi pour l'expérimentation finale si cette méthodologie vous semble valide.

Les résultats sont très encourageants.

Cette pré-expérience tend à montrer quelque chose de très important : Il semble bien que mesurer la valeur qui nous intéressait est **possible**.

La charge cognitive est propre à la tâche menée. Des expériences pour mesurer la charge liée à une activité pour des médias de conceptions différents, ainsi que pour des activités créatives par exemple, ont été menées. Mais jamais selon le matériau. Ce n'était donc pas acquis par avance.

Il est difficile, et il *devrait* être impossible de conclure quoi que ce soit des résultats de la pré-expérience. Nous dirons donc simplement que les conditions expérimentales sont à notre portée pour leur mise en place ainsi que l'analyse des données.

À se jour la difficulté la plus importante sera de se procurer un panel de participants le plus large possible.

Puisque l'élaboration d'un outil de mesure entièrement automatisé et 100x plus précis que celui utilisé est déjà en cours et que c'est une activité pour laquelle la motivation ne me manque pas, je me tiens pour optimiste quand au démarrage durant les 3 mois de «période de redressement» parfois appelé «vacances» de l'expérimentation réelle sur son protocole final.

Bibliographie

Catalogue de ressource & Référensothèque

1. BONNARDEL Nathalie, 2006, Créativité et conception, Approches cognitives et ergonomiques Solal, Marseille.
2. ASHRAF MOHAMED Ahmed, 2013, Proposition d'une méthode mixte d'évaluation de l'incidence des médias sur le processus de conception architecturale, Université Aix-Marseille.
3. ASHRAF MOHAMED Ahmed, BONNARDEL Nathalie, CÔTÉ Pierre, 2012. «la charge cognitive durant l'idéation architecturale : influence des médias de conception» in Complexité(s) des modèles de l'architecture. Pun - Presses universitaires de Lorraine.
4. DORTA T., PÉREZ, E. & LESAGE, A, 2008 The Ideation Gap : Hybrid tools, Design flow and Practice Design Studies. 29(2): p. 121-141.
5. LAWSON, B., 2006 How designers think : the design process demystified 4th ed. ed. Oxford: Boston : Architectural Press.
6. BILDA, Z. & J. GERO, 2008 Idea development can occur using imagery only during early conceptual designing. in Design Computing and Cognition'08. Springer
7. BONNARDEL, N., & Piolat, A., 2003 Design activities: how to analyze cognitive effort associated to cognitive treatments? International Journal of Cognitive Technology, 8(1): p. 4-13.
8. CEGARRA, Julien., & CHEVALIER, A., 2008 The use of Tholos software for combining measures of mental workload; toward theoretical and methodological improvements.» Behavior Research Methods. 40(4): p. 988-1000.
9. CHANQUOY, L. Tricot, A., & Sweller, J., 2007 La charge cognitive. Paris: A. Colin.
10. STANISLAS Dehaene, 2015 Fondements cognitifs des apprentissages scolaires Conférences au collège de France.
11. CEGARRA Julien, MORGANO Nicolas *Étude des propriétés de la version francophone du NASA-TLX* Symposium.

Annexe 1 : Questionnaire pré-expérimental

Les questions estampillés (f) sont facultatives.

N°1 Pseudonyme

N°2 (f) Sexe : (*Question à remettre en cause*)

N°3 (f) Année de naissance :

N°4 En quelle année de votre cursus étudiez vous actuellement ?

N°5 Ordonnez de 1 à 5 les outils que vous utilisez lors de la phase conceptuelle d'un exercice d'architecture :

- Croquis / Esquisses
- Maquette
- Précédents ou sources d'inspiration (net, livres, revues)
- Logiciels de CAO
- Autre

N°6 Pour le logiciel de CAO ci-dessus, lequel serait-il ?

N°7 (f) Nous avons ajouté une option "autre" à la question sur vos outils préférés, s'il y en a effectivement un autre : pouvez-vous le spécifier ?

- Béton
- Bois
- Acier
- Argile
- Pierre
- Verre
- Polymère
- Autres

N°8 Ordonnez de 1 à 8 les matériaux STRUCTURELS que vous avez les plus utilisés au cours de votre cursus (un scroll droite-gauche est peut-être nécessaire) :

- Béton
- etc...

N°9 Ordonnez de 1 à 8 les matériaux de PAREMENT que vous avez les plus utilisés au cours de votre cursus (un scroll droite-gauche est peut-être nécessaire) :

- Béton
- etc...

N°10 Ordonnez de 1 à 8 les matériaux selon votre degré de connaissance de celui-ci. (un scroll droite-gauche est peut-être nécessaire) :

- Béton
- etc...

N°11 Ordonnez de 1 à 8 les matériaux selon le temps de cours que vous avez eu sur celui-ci (selon vous) :

- Béton
- etc...

N°12 À quel point avez-vous trouvé ce questionnaire embêtant ?

Curseur de 1 à 6.

7. Lequel des 6 critères précédents (exigence mentale, physique, performance, effort, frustration, écoulement du temps), a été le plus influent sur votre activité d'idéation ?

Entourez le critère le plus influent.

Effort	Exigence temporelle	Exigence temporelle	Exigence physique	Performance
Performance	Frustration	Effort	Frustration	Frustration
Exigence physique	Exigence physique	Exigence temporelle	Frustration	Performance
Exigence temporelle	Performance	Exigence mentale	Effort	Exigence mentale
Performance	Exigence mentale	Exigence mentale	Effort	Frustration
Exigence temporelle	Effort	Exigence physique	Exigence physique	Exigence mentale



L'influence du choix des **matériaux** de construction sur la **charge cognitive** requise pour le travail de **conception** architecturale.