



Sûreté de fonctionnement appliquée à un système de formation en ligne

Dependability applied to an e-learning system

MOTET Gilles
INSA Toulouse
Toulouse
gilles.motet@insa-toulouse.fr

SIGNORET Jean-Pierre
TotalEnergies Professeurs Associés
Paris
j-p.signoret@orange.fr

MAHIEUX Léonore
INSA Toulouse
Toulouse
leonore.mahieux@insa-toulouse.fr

1 **Résumé** — La sûreté de fonctionnement (SdF) est la science permettant d'assurer les fonctions requises des systèmes, dans des conditions
2 données. Au-delà des systèmes industriels où elle est mise en œuvre classiquement, elle est aussi utile au cycle de vie des systèmes
3 sociotechniques dont les défaillances auraient des conséquences graves. Le but de cet article est de montrer la pertinence des apports de la
4 SdF au cycle de vie des systèmes de formation en ligne (MOOC - Massive Online Open Course). Il met en valeur les événements redoutés,
5 analyse leurs causes et propose des moyens de les maîtriser, en tirant parti des approches de la sûreté de fonctionnement.

6 **Mots-clefs** — *formation en ligne, MOOC*

7 **Abstract** — Dependability is the science of ensuring that systems perform their required functions under given conditions. Behind
8 industrial systems, where it is traditionally applied, it is also useful in the life cycle of socio-technical systems whose failures would have
9 serious consequences. The aim of this paper is to show the contribution of dependability to the lifecycle of Massive Open Online Course
10 (MOOC) systems. It highlights the unwanted events, analyses their causes and suggests ways of controlling them, taking advantage of
11 dependability approaches.

12 **Keywords** — *e-learning, MOOC*

13 I. INTRODUCTION

14 A. Contexte

15 Après avoir développé un Mastère spécialisé en présentiel, intitulé « Safety Engineering and Management » (SEAM, 2008),
16 toujours opérationnel, l'INSA Toulouse a décidé de lancer une plate-forme offrant des services de formation en ligne, disponibles
17 24h/24, ouverts à tous, et utilisables en toute autonomie, c'est-à-dire sans tuteur (SEAMOnLine, 2018).

18 Actuellement, 22 unités de formation, souvent désignées par l'acronyme MOOC pour « Massive Open Online Course », sont
19 disponibles. Chaque unité, d'environ 15 heures de formation, aborde une des diverses facettes de la sécurité incluant la gestion
20 des risques, la sûreté de fonctionnement (SdF), la sécurité des procédés, la sécurité fonctionnelle, le management de la sécurité,
21 ou encore les facteurs humains et organisationnels de la sécurité. Ces unités sont essentiellement construites avec des industriels
22 dont la formation n'est pas l'objectif premier mais très motivés pour disséminer leur savoir-faire. C'est le cas actuellement avec
23 le développement de 4 unités en SdF dans le cadre d'une convention entre l'INSA et TPA (TotalEnergies Professeurs Associés).
24 Dix unités supplémentaires sont aussi en cours de développement. L'ensemble des unités sont implantées sur une plate-forme ou
25 LMS pour « Learning Management System » qui offre d'autres services parmi lesquels, dans notre cas, un « cartable » qui
26 regroupe les unités en cours de suivi par le participant ainsi que leur pourcentage d'avancement, un portfolio regroupant les
27 certificats obtenus, un outil permettant de vérifier l'identité du propriétaire d'un certificat, un forum pour partager les questions
28 et réponses, et bien d'autres fonctionnalités dont certaines seront mentionnées par la suite.

29 B. Enjeux

30 Parmi les apports des formations en ligne peuvent être citées : la souplesse d'accès pour les apprenants (n'importe quand et
31 n'importe où, sous réserve d'une liaison Internet), la mise à disposition à un nombre illimité de participants, pour un coût
32 pratiquement nul pour les établissements de formation (Rifkin, 2014), la dissémination de la connaissance ou encore la diffusion
33 rapide de la notoriété des auteurs ou des organisations.

34 Aux USA, ces formations ont connu un développement très rapide, en particulier dans le milieu universitaire, et sont d'un
35 usage courant pour les étudiants. En 2018, 35% des étudiants américains avaient suivi des cours en ligne (formations complètes
36 ou partielles). Cet engouement est spécialement dû aux coûts plus réduits pour s'inscrire et suivre ces formations. Le « National
37 Center for Education Statistics » du gouvernement américain fournit un chiffre plus récent, le précise, et met en valeur sa
38 croissance : à l'automne 2022, 26,4% des étudiants ont suivi des formations complètes en ligne (menant à un diplôme de type
39 Bachelor ou Master), 27,8% des formations hybrides et 45,8% des formations uniquement en présentiel (NCES, 2022). Ces
40 dernières deviennent donc progressivement minoritaires. En 2019, les formations en ligne représentaient un marché de 5 milliards
41 de dollars, qui devrait atteindre 20 milliards de dollars en 2025 (Bouchrika, 2024).

42 En France, les données sont bien différentes. Par exemple, sur le site de la « Fédération Inter-universitaire de l'Enseignement
43 à Distance » (FIED, 2024), la recherche d'un Master d'informatique en ligne dans n'importe quel établissement, fournit pour
44 réponse : « Pas de résultats ! Merci de faire une nouvelle recherche. »

45 Après avoir obtenu une licence en « Sciences de l'ingénieur », le site gouvernemental de candidature à des Masters offre 380
46 Masters dont seulement 19 sont hybrides et 15 sont dits en ligne (MonMaster, 2024). En regardant les contenus de ces derniers,
47 ce chiffre se réduit de 15 à 5 si on exclut les formations des « Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation »
48 (MEEF), les STAPS (Sciences et Techniques des Activités Physique et Sportives) ou d'autres formations dont les débouchés sont
49 très éloignés des métiers de l'ingénierie. Enfin, notons que ces 5 formations restantes ne peuvent pas être suivies en complète
50 autonomie mais imposent une part importante d'interactions à distance de façon synchrone avec les professeurs : cours ou
51 échanges sur des créneaux horaires définis, voire des périodes de présentiel.

52 Les formations en ligne sont généralement complétées par des activités de formation en présentiel (par exemple, des études
53 de cas) ou sont considérées comme des compléments à des formations en présentiel. Le développement de ces formations
54 hybrides est explicitement ou implicitement justifié par le doute quant à l'efficacité des formations purement en ligne. D'ailleurs
55 le site gouvernemental (Formations à distance, 2024) précise que ce type de formation est adapté « Si vous ne pouvez pas vous
56 rendre dans un établissement d'enseignement supérieur pour suivre une formation ».

57 Ces données montrent donc la réticence de l'Enseignement supérieur français vis-à-vis des formations purement en ligne
58 suivies en autonomie. Même si le « Digital Education Action Plan (2021-2027) » (DEAP, 2020) de la commission européenne
59 fixe parmi les deux domaines prioritaires celui de « favoriser le développement d'un écosystème d'éducation numérique
60 performant », sa mise en œuvre en France est timorée. Implicitement, l'institution considère que ces systèmes de formation ne
61 permettent pas « d'assurer les fonctions requises dans des conditions données », c'est-à-dire ne sont pas sûres de fonctionnement.
62 Le but de ce papier est de montrer comment une étude de Sûreté de fonctionnement permet de prévenir ces risques qui sont
63 effectifs : nous les identifierons et les analyserons avant d'en proposer la maîtrise.

64 C. Difficultés

65 Comme souvent, l'accident est source de remise en cause (Kletz, 2001) et la pandémie de COVID-19 a imposé le
66 développement du distanciel. Cependant, l'essentiel des formations mises en œuvre dans l'urgence n'utilisaient que des
67 interactions synchrones, par exemple des présentations PowerPoint, via des plateformes de partage comme TEAMS ou ZOOM,
68 et sous le contrôle d'un enseignant. Pour certains rares établissements, comme l'INSA Toulouse, la pandémie a été cependant
69 une occasion (une « opportunité » au sens l'ISO 31000!) de réflexion sur l'étape suivante, à savoir des formations asynchrones
70 suivies en complète autonomie par les apprenants. En premier lieu, cette pandémie a conduit au développement d'études sur
71 l'efficacité des formations purement en ligne, appelées « Pure player », afin de répondre aux réserves des établissements à les
72 développer et des administrations à les accréditer. Nous en identifierons et analyserons les risques dans ce papier, afin de les
73 maîtriser.

74 Les moyens de mesures utilisés sont basés sur les réponses des apprenants à des questionnaires sur leur appréciation de la
75 qualité de la formation, ou sur l'analyse des résultats de leurs évaluations des connaissances acquises.

76 D'autres études comparent les modalités de formation en ligne à celles en présentiel. Elles permettent de révéler la pertinence
77 de chaque modalité, par exemple dans l'optique de formations hybrides (Makarova, 2021).

78 Certaines de ces études portent sur la pédagogie utilisée par les unités de formation, les outils pour la mettre en œuvre ainsi
79 que les impacts organisationnels et leurs mises en pratique. Ce dernier thème concerne par exemple, les interactions entre les
80 participants et l'auteur de l'unité de formation ou un tuteur. Elles montrent aussi l'importance des fonctionnalités de la plateforme
81 d'accueil des unités, le « Learning Management System », afin, par exemple, de faciliter la collaboration (ex. forum, projets
82 partagés).

83 D. Objectifs

84 Les études mentionnées précédemment sur le développement des formations en ligne et sur leur évaluation concernent
85 souvent les leviers psychologiques que peuvent mobiliser les pédagogues (Mayer, 2024). D'autres études en pédagogie
86 s'intéressent à la distribution efficace des rôles entre activités en ligne et en présentiel (Chen, 2024). Mais, en arrière-plan, le
87 doute subsiste quant à la capacité des systèmes de formation en ligne et en autonomie de permettre « d'assurer les fonctions
88 requises dans des conditions données », c'est-à-dire quant à leur sûreté de fonctionnement. Dès lors, pourquoi ne pas tirer profit
89 de l'expertise de l'ingénierie de la sûreté de fonctionnement pour y remédier ? Cet article s'inscrit dans cette perspective car elle
90 nous semble pertinente, même si elle peut paraître singulière, voire insolite.

91 Ces réflexions sont issues du développement de l'offre de plusieurs formations en ligne sur le site <https://seamonline.insa-toulouse.fr/>, dont certaines en relation avec la sûreté de fonctionnement : une unité de formation sur le thème « Sécurité fonctionnelle » et 4 unités basées sur l'ouvrage publié par un des auteurs de ce papier membre de TPA (Signoret, 2021) et concernant la dissémination de l'expertise en « Sûreté de fonctionnement des systèmes de sécurité et de production ».

95 E. Plan

96 L'objet de la sûreté de fonctionnement (SdF) étant d'assurer les fonctions requises d'un système, dans des conditions données, cet article va suivre le plan d'une étude SdF classique mais avec la formation en ligne en autonomie comme système étudié. Nous allons tout d'abord, à la section 2, nous questionner sur les fonctions assignées à un système de formation en ligne et les conditions associées. A la section 3, nous identifierons les événements redoutés entravant la réalisation des fonctions et analyserons leurs causes. Nous proposerons à la section 4 des moyens pour leur maîtrise en montrant les multiples facettes de ceux-ci. La section 5 illustrera les propositions sur un exemple d'unité de formation développée. La section 6 proposera une évaluation de la sûreté induite. La section 7 conclut cet article en mentionnant les questions ouvertes et nos pistes d'étude.

103 II. FONCTIONS ET CONDITIONS

104 La première étape d'une étude SdF est de définir précisément le système étudié : nous choisirons donc un système de formation en ligne (comme on le ferait avec un système de production) avec pour objectif principal l'acquisition effective, par les participants (que nous nommerons également étudiants ou apprenants), de connaissances ou de compétences.

107 Les conditions « données » considérées ici concernent tout d'abord le processus d'apprentissage :

- 108 • L'accès en permanence aux moyens de formation – 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 –
- 109 • L'accessibilité en tout lieu – pas de salle de classe –
- 110 • L'accès pour tous, par auto-inscription et sans droits d'inscription – pas de sélection ni de coût –
- 111 • Le choix des matières suivies et du séquençement d'apprentissage – pas de programme imposé –
- 112 • L'autonomie complète de l'apprenant – pas de tuteur avec qui échanger de façon synchrone ou asynchrone –.

113 Le deuxième ensemble de conditions concerne la création et la mise à disposition des unités de formation par les auteurs :

- 114 • Pas d'échange financier entre les auteurs et l'institution gérant la plate-forme (l'INSA Toulouse).
- 115 • Droit de propriété des contenus de formation réservé à l'auteur mais droit non exclusif de reproduction concédé à l'INSA et droit d'usage à tous (participants).
- 116 • Retour sur investissement des auteurs non issu de la plate-forme de formation (pas de droits versés). Les bénéfices sont indirects comme par exemple la notoriété de l'entreprise de l'auteur en mettant en valeur son expertise auprès de futurs clients ou de futurs collaborateurs.

120 Un dernier ensemble de conditions concerne l'institution gérant la plate-forme et accueillant les unités de formation (l'INSA Toulouse), qui doit assurer le développement de l'offre de formation, ainsi que la pérennité et la maintenance des unités mises à disposition, en plus de la maintenance de cette plate-forme après son développement.

123 III. EVENEMENTS REDOUTES ET ANALYSE DES CAUSES

124 A. Les risques abordés dans cet article

125 Rappelons que la fonction du système de formation en ligne est l'acquisition effective par les étudiants de connaissances ou de compétences.

127 A partir d'une étude bibliographique, nous avons identifié quatre catégories d'événements indésirés, c'est-à-dire conduisant à l'absence ou à la réduction des acquis (dommages) au regard des objectifs de formation :

- 129 • Méconnaissance ou non utilisation de la plate-forme : les personnes requérant une formation n'accèdent pas à notre plate-forme et n'utilisent pas ses unités de formation. Ceci est équivalent à une absence de production pour les systèmes de production.
- 130 • Abandon en cours de formation : les participants ne mènent pas jusqu'au bout une unité de formation débutée. Ceci est équivalent à un arrêt de production.
- 131 • Dilettantisme / Implication insuffisante : les participants suivent complètement une unité de formation mais sans l'engagement nécessaire. Ceci est équivalent à une production partielle.
- 132 • Connaissances acquises insuffisantes, malgré un suivi complet et sérieux, révélées, par exemple, par l'échec à l'évaluation. Ceci est équivalent à une production de mauvaise qualité.

138 *B. D'autres risques non considérés dans cet article*

139 En plus des risques concernant la formation des étudiants dont les événements indésirés ont été mentionnés ci-dessus, il existe
140 également d'autres risques (non traités dans cet article), associés à d'autres objectifs que celui de la formation des participants.
141 Nous pouvons les énumérer et mentionner brièvement notre approche de leur traitement :

142 • Les risques financiers à travers l'étude de la rentabilité de cette modalité de formation pour les auteurs comme pour
143 l'INSA. Sans apports financiers directs, le retour sur investissement doit intégrer d'autres apports comme la notoriété. Par
144 exemple, pour l'INSA Toulouse, la plate-forme est une vitrine incitant les candidats à s'inscrire à des formations en présentiel
145 payantes (SEAM, 2008) et les entreprises à embaucher ses étudiants. Cette plate-forme permet également de favoriser la
146 coopération avec des entreprises et d'autres établissements universitaires en offrant une occasion de partager un projet
147 commun. Comme pour toute activité économique sur Internet, la mise de départ est importante ; elle inclut le développement
148 de la plate-forme. Les premières années sont donc à perte. Pour l'INSA, comme pour les auteurs (dont les entreprises),
149 le retour sur investissement ne débute que lorsqu'une certaine notoriété est atteinte (plusieurs milliers d'inscrits).
150 Habituellement, les établissements universitaires ne sont pas concernés par ce type de risque car la dépense des formations
151 est un coût de fonctionnement renouvelé chaque année et non un investissement amortissable sur plusieurs années. Cette
152 rupture culturelle est sans doute une des origines des réticences des établissements universitaires français à se lancer dans le
153 développement de ce type de formations.

154 • Les risques de conception des cours en ligne par défaut d'engagement des auteurs ou l'abandon de ceux-ci. Pour les
155 auteurs, le retour sur investissement n'étant pas immédiatement tangible, ils peuvent hésiter à s'engager dans des
156 développements d'unités de formation en ligne. Pour réduire l'investissement des auteurs, l'INSA a mis au point une méthode
157 de développement efficace (assurance du résultat et de sa qualité) et efficiente (minimisation du temps passé par les auteurs).
158 Pour une heure de temps de travail d'un auteur, l'INSA contribue à hauteur de plus d'une journée (~10 heures). En particulier,
159 la construction et la rédaction des scénarios (objectifs pédagogiques, types et durées des activités, accroches des vidéos, etc.)
160 reposent largement sur l'INSA qui gère également le volet numérique (numérisation des supports, intégration sur la plate-
161 forme, etc.). Ceci permet aux auteurs de se focaliser sur leur apport scientifique.

162 • La plate-forme de formation supporte aussi un risque essentiel. Pour cette raison, l'INSA porte attention à la sûreté de
163 fonctionnement de cette plate-forme (incluant la cybersécurité), au développement de nouveaux cours et à la mise à jour des
164 cours existants (maintenance), ainsi qu'au maintien de l'engagement de l'organisation (INSA) intégrant le soutien logistique
165 (serveur vidéo dédié, mise à jour des versions du LMS, etc.).

166 *C. Facteurs d'augmentation des risques*

167 Avant de proposer les moyens de maîtrise des risques, il est essentiel de comprendre les facteurs d'augmentation de ceux-ci.

168 *1) Méconnaissance ou non utilisation de la plate-forme*

169 Si la possibilité d'accéder à des sites Web comme une plate-forme de formation est aisée pour les utilisateurs, l'accès effectif
170 est entravé par de nombreuses causes :

- 171 • Un défaut d'information sur celle-ci.
- 172 • Un manque de notoriété de la majorité des établissements français à l'international.
- 173 • Un manque de communication au niveau des groupes d'établissements ou des institutions étatiques (Campus France,
174 ambassades...) sur ce type de produit de formation.
- 175 • Une méconnaissance de la culture des utilisateurs des services numériques : par exemple en faisant payer l'accès (frais
176 d'inscription) a priori, ou en régissant ces accès comme ce serait le cas d'une procédure nécessairement longue d'inscription
177 universitaire avec vérification du niveau d'étude, accessible uniquement sur des périodes données, et à renouveler chaque
178 année.
- 179 • Une offre limitée d'unités de formation par manque d'investissement initial ou absence de culture du partage à la base
180 des services en ligne (« Mes cours, dans ma langue, par mes enseignants, pour mes étudiants »).

181 *2) Abandon en cours de formation*

182 De nombreuses circonstances conduisent à l'abandon en cours d'une formation en ligne après l'avoir commencée.

- 183 • Pédagogie utilisée inadaptée du fait d'un faible investissement dans la recherche pédagogique spécifique aux formations
184 en ligne. Lorsque, par exemple, les auteurs se contentent de reproduire la pédagogie (souvent) passive des cours en présentiel
185 qui devient insupportable pour les participants en ligne.
- 186 • Trop faible investissement dans le développement des unités de formation en ligne. Très souvent, les établissements
187 universitaires dispensent des formations sur le développement de telles unités, à des enseignants déjà submergés par d'autres
188 tâches. Même si parfois, ces établissements leur fournissent une assistance ponctuelle, la pédagogie et les technologies
189 indispensables pour les formations en ligne nécessitent le travail d'experts que ne sont pas ces auteurs. Un très bon roman n'a
190 jamais donné un bon film si on laisse la caméra dans les mains de l'écrivain, même si on lui en a expliqué le fonctionnement.

191 • Qualité perfectible des supports liée à nouveau à un faible investissement dans leur création, alors que les utilisateurs
192 d'Internet sont habitués à des qualités élevées. A nouveau, ces créations sont du ressort de spécialistes en multimédia et non
193 des auteurs fussent-ils formés ou accompagnés.

194 • Plateformes d'accueil des unités de formation trop rustiques dues à un faible investissement ou un manque de pédagogie
195 adaptée dans leur développement. La plate-forme doit pourtant suppléer, par exemple, l'absence de la boucle de retour du
196 formateur ou du collectif d'apprenants présents dans les salles de classes (Khazanchi, 2022).

197 3) *Dilettantisme / Implication insuffisante*

198 La salle de classe présente de nombreuses contraintes imposant une implication continue des étudiants lors de leur formation :

- 199 • L'absence à une formation est visible voire notée (fiche de présence) ;
- 200 • Les mauvaises compréhensions des apprenants sont identifiées lors des échanges entre participants et intervenant ;
- 201 • Les travaux partagés en groupes nécessitent que chacun s'investisse, etc.

202 En revanche, de par leur nature, les formations en ligne suivies en autonomie font généralement disparaître ces contraintes :
203 anonymat, absence d'alerte en cas de faible investissement, absence de travaux partagés, etc. A nouveau, le faible investissement
204 dans la pédagogie, dans la création des unités de formation et dans la plate-forme, essentiellement, et plus ponctuellement dans
205 les supports de formation, ne permet pas de prendre en compte ces nouveaux degrés de liberté qu'offrent les formations en ligne.

206 4) *Connaissances acquises insuffisantes*

207 Certes les connaissances acquises seront assurément insuffisantes si la formation est abandonnée en cours de route ou est
208 suivie en dilettante. Cependant, un participant sérieux, au sens qu'il a suivi avec attention l'ensemble de la formation, peut
209 également n'en tirer qu'un faible acquis en fin de formation. La situation est comparable à celle du visionnage d'une série-télé ;
210 celle-ci vous fait passer un bon moment mais sans que vous soyez capable de réexpliquer son scénario si on vous le demande par
211 la suite. Ce genre d'inefficacité de la formation en ligne est, en particulier, due à l'absence de certaines activités présentes dans
212 les formations en présentiel et ayant cette vocation d'appropriation des connaissances. C'est le cas, par exemple, des travaux
213 dirigés ou des travaux pratiques imposant aux étudiants de réinvestir et donc d'acquérir par la pratique, les notions présentées
214 dans le cours magistral. A nouveau la pédagogie, les ressources utilisées et la plate-forme ne fournissent souvent pas des moyens
215 dédiés à cette appropriation.

216 IV. MOYENS DE MAITRISE

217 L'analyse des facteurs d'augmentation des risques a mis en valeur 4 composantes supportant ces facteurs :

- 218 • la pédagogie mise en œuvre par les unités de formation,
- 219 • le contenu des unités de formations,
- 220 • les supports (ressources) des unités de formation, et
- 221 • la plate-forme accueillant des unités de formation.

222 Les sections suivantes exposent comment les risques analysés précédemment sont maîtrisés en agissant sur ces 4
223 composantes ; de cette maîtrise dépendra la SdF du système de formation concerné.

224 A. *Prévenir la méconnaissance ou non utilisation de la plate-forme*

225 Pour que les étudiants utilisent la plateforme, il faut d'abord porter son existence à la connaissance des participants potentiels.
226 Une publicité efficace est indispensable sur les réseaux sociaux comme LinkedIn ou par des publications comme la présente.

227 D'autre part, afin d'encourager l'usage à la plate-forme de formation SEAMOnLine (SEAMOnLine, 2018), la culture des
228 utilisateurs des services numériques a été prise en compte : l'accès est gratuit, sans contrainte (auto-inscription), sans prérequis,
229 24h/24 et propose fréquemment des versions française et anglaise. Ainsi, le suivi des unités de formation peut être débuté par
230 tous et à tout moment avec une barrière linguistique limitée. Nous savons que la gratuité augmente potentiellement le risque
231 d'abandon ou le dilettantisme, mais elle favorise aussi l'accès d'utilisateurs de pays à faibles revenus et permet de satisfaire la
232 curiosité. Par exemple, un ingénieur n'hésitera pas à débiter une unité consacrée aux "Systèmes de management de la sécurité"
233 ou aux "Facteurs humains et organisationnels de la sécurité".

234 Pour encourager l'utilisation des ressources de la plate-forme, celle-ci doit disposer d'une large offre d'unités de formation
235 de qualité. Pour ce faire, les auteurs sont cherchés parmi les spécialistes des sujets abordés. Ils restent les propriétaires des
236 contenus. Ainsi, les ressources de formation sont tagguées avec les logos de leurs organisations. L'INSA Toulouse offre une
237 plate-forme d'accueil et possède un droit non exclusif d'usage : les unités de formation ne sont pas accessibles qu'aux étudiants
238 INSA mais à tous.

239 Partant du constat que ces experts n'avaient pas mission à créer des formations (ingénieurs en fonction, retraités) ou
240 disposaient de très peu de temps à accorder à cette nouvelle modalité de formation (enseignants universitaires), nous avons mis
241 au point une méthode de développement transférant l'essentiel de la charge sur l'équipe de l'INSA :

- 242 • Une pédagogie spécifique, décrite ci-après, a été développée en interne à l'INSA.

243 • La création du scénario de l'unité de formation, basée sur les principes de cette pédagogie, ne nécessite qu'une réunion
244 d'une heure par semaine avec l'auteur mais est suivie d'une dizaine d'heures de travail d'un ingénieur pédagogique de l'INSA
245 avant la réunion suivante.

246 • La création des supports numériques est réalisée par un ingénieur multimédia de l'INSA.

247 • L'implantation de ces supports sur la plate-forme est également à la charge de l'INSA.

248 • Enfin, l'INSA réalise des tests approfondis avant un test final de recette par l'auteur.

249 Ainsi, chacun est dans son rôle : l'auteur dans son domaine scientifique, et l'INSA dans celui de l'ingénierie de formation en
250 ligne. Ceci garantit la qualité des unités de formation qui a été rapidement reconnue, conduisant à une croissance de la
251 participation (1400 nouveaux inscrits lors de la dernière année).

252 B. Réduire l'abandon en cours de formation

253 Un investissement important a été effectué dans la recherche d'une pédagogie spécifique aux formations en ligne afin de
254 réduire le taux d'abandon. Nous avons instancié les principes du "Experiential Learning Theory" (Kolb, 2005). Cette théorie
255 considère que la formation est un processus de création de connaissances et de compétences chez l'apprenant. La nature de ce
256 processus basé sur la pratique ("Learning by doing") favorise le maintien de l'engagement des étudiants en les impliquant à
257 travers 4 étapes :

258 • Vivre une expérience concrète permettant de percevoir le besoin (le manque) d'une connaissance. Une technique, parmi
259 tant d'autres, consiste à raconter un accident/incident dont la cause n'est pas triviale.

260 • Mener une réflexion personnelle sur l'expérience afin d'impliquer le participant dans sa solution. En prolongeant
261 l'exemple précédent, on peut demander aux participants de choisir

262 ○ la cause la plus vraisemblable parmi une liste de propositions plausibles, si on introduit un danger non encore
263 étudié, ou

264 ○ la barrière qui leur semble la plus efficace parmi des options crédibles, si la notion à mettre en lumière concerne
265 un moyen de prévention de l'accident.

266 • Découvrir la notion théorique en repartant de l'expérience vécue et analysée par l'étudiant. C'est lors de cette étape
267 inductive (ou « bottom-up », comparable à la démarche AMDEC) que la notion théorique est introduite. Elle offre une
268 généralisation du problème particulier présenté à la première étape (expression du besoin), et analysé lors de la seconde étape.

269 • Expérimenter immédiatement les nouveaux acquis théoriques, par exemple en traitant un autre événement indésirable (autre
270 situation accidentelle/incidentelle).

271 Cette approche, en ligne avec le fonctionnement cognitif, est appliquée pour chaque notion de base et permet de transformer
272 des situations concrètes en concepts abstraits (connaissances théoriques). Elle comporte donc des activités très courtes (quelques
273 minutes) et mises en œuvre par des techniques variées ; nous en avons cité une précédemment : partir d'une histoire. Cet
274 enchaînement de courtes activités permet un effet de tension propre à maintenir une attention permanente des participants. Elle
275 met en œuvre 4 sens :

276 • se sentir dans un environnement concret familier (vivre une expérience concrète),

277 • voir qu'on peut aborder ladite expérience avec ses perspectives, ses connaissances actuelles, même de façon partielle et
278 spécifique (se l'approprier par une réflexion personnelle),

279 • découvrir une autre perspective pour l'aborder de façon plus rigoureuse, plus complète et générale (découvrir la notion
280 théorique), et

281 • faire un usage immédiat de cette nouvelle découverte en percevant ainsi son utilité (expérimenter à nouveau).

282 Nous disposons pour implanter chaque étape du cycle de Kolb, de techniques variées et, ainsi, éviter la répétition des cycles
283 en une monotonie, incitant à l'abandon de la formation et donc contraire à l'objectif visé. Ces techniques sont proposées aux
284 auteurs dans le cadre de la méthode de développement détaillée précédemment. L'investissement important de l'équipe
285 d'ingénieurs pédagogiques de l'INSA permet d'obtenir des unités de formation de qualité, sans investissement supplémentaire
286 des auteurs.

287 A nouveau, c'est l'équipe de l'INSA (ingénieurs multimédia) qui crée les supports afin d'en assurer une bonne qualité. En
288 particulier, ces supports doivent être adaptés à la lecture sur écran (ergonomie). C'est le cas par exemple pour les vidéos, les
289 documents mais aussi les textes ou figures à compléter (« Drag & Drop ») pour ne citer que trois exemples. Ils doivent être
290 d'accès suffisamment aisé pour maintenir l'engagement des participants.

291 Les unités sont divisées en parties contenant les activités. Elles sont visibles sur la page principale de chaque partie de l'unité.
292 La liste des activités réalisées et à venir peuvent également être affichées dans un volet à droite (cf. figure 1). Ainsi, les étudiants
293 perçoivent leur progression et le chemin qu'il reste à faire pour terminer la partie puis l'unité.

294

Passons à l'action !

Terminé : Consulter



Vos activités dans cette partie

- Introduction
- Partie 1. Lundi. Concept de risque
- Quels sont nos objectifs en prenant le volant ?
- De multiples objectifs de natures très variées
- Partageons les objectifs identifiés
- Partageons les objectifs identifiés : conclusion
- Passons à l'action !
- Plan d'action et action

295
296

Fig. 1. Suivi des activités.

297
298
299
300
301

La plate-forme d'accueil des unités de formation doit offrir de nombreuses fonctionnalités afin de maintenir l'engagement des étudiants (Khazanchi, 2022). Nous pouvons citer comme exemple de la carte sur laquelle on peut zoomer (cf. figure 2). Elle permet aux participants de voir où se situent les autres personnes inscrites. Ainsi, chaque participant se sent entouré (virtuellement) des étudiants se situant dans sa région ou dans les autres parties du monde.



302
303

Fig. 2. Extrait de la carte

304
305

Le « cartable » est un autre outil du maintien de l'engagement. Il montre au participant, l'état de son avancement dans les différentes unités qu'il a débutées.

306 C. Prévenir le dilettantisme / l'implication insuffisante

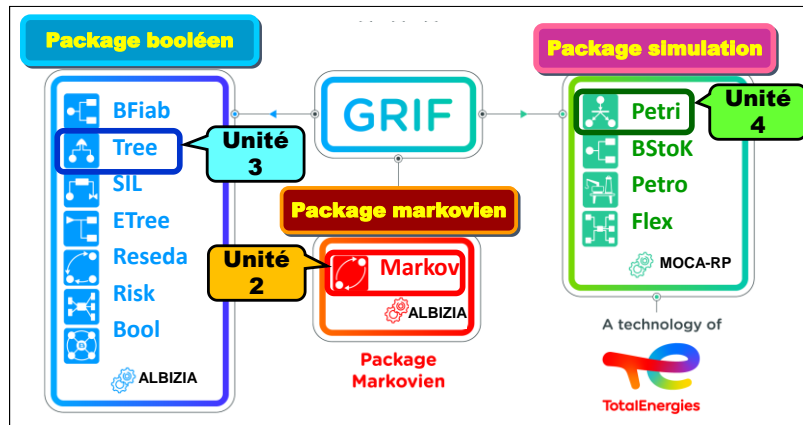
307
308
309
310

Nous avons cité précédemment les nombreuses caractéristiques propres aux formations en ligne à l'origine de la réduction de l'implication, qui engendraient un désinvestissement de l'apprenant : anonymat, absence de travaux pratiques, absence d'alerte en cas de faible investissement dans sa formation. A nouveau, le faible financement de la pédagogie, du développement des unités de formation, et de la création de la plate-forme, sont les causes de l'absence de prise en compte de ces caractéristiques.

311
312
313
314
315

Au contraire, la pédagogie mise en œuvre (cycle de Kolb) mobilise l'engagement des participants par la mise en situation avant l'acquisition d'une notion théorique, puis durant cet apprentissage et à nouveau immédiatement après. De plus, lors du développement des 4 unités de formation sur le thème « Sécurité de fonctionnement des systèmes de sécurité et de production », nous avons mis au point des travaux pratiques en ligne, basés sur l'outil graphique, interactif et convivial GRIF de TotalEnergies (GRIF, 2024) initié par J-P Signoret dans les années 80 et développé et continuellement amélioré depuis. N'ayant pas l'assistance

316 d'un tuteur, une approche particulière a été adoptée pour prendre en compte cette difficulté. Par exemple, les exercices concernent
 317 davantage les raisonnements à mener que les résultats à obtenir et ils sont dimensionnés pour être réalisables avec la version de
 318 démonstration gratuite du progiciel. La figure 3 met en évidence les 3 modules de base (parmi 12) utilisés dans les unités 2 à 4
 319 du MOOC concerné.



320
 321 Fig. 3. Les 3 modules de base de GRIF mis en œuvre pour les exercices des unités 2, 3 et 4

322 La plate-forme elle-même dispose de fonctionnalités maintenant l'implication des étudiants. Par exemple, elle impose de finir
 323 l'activité d'une unité avant de passer à l'activité suivante de celle-ci. Ceci évite que les étudiants aillent papillonner.

324 De plus, chaque unité propose un « Journal de bord » dont le contenu suit la structure de l'Unité : un chapitre par partie de
 325 l'unité, une section par sous-partie, et des paragraphes à compléter par les notes prises par l'étudiant pour chaque notion. La
 326 couverture comporte une zone dans laquelle le participant inscrit son nom. Les activités guident les étudiants dans la prise de
 327 notes.

328 Enfin, une jauge est disponible dont les 3 couleurs (vert, orange et rouge) indiquent à l'étudiant, en temps-réel, notre
 329 appréciation du sérieux du suivi de l'unité. Seuls les participants terminant l'unité dans la zone verte peuvent demander un
 330 certificat de terminaison identifié par un numéro. Une autre fonctionnalité de la plate-forme permet de contrôler l'auteur du
 331 certificat afin d'éviter les vols de certificats (modification de l'identité de la personne dans le fichier PDF).

332 D. Eviter des connaissances acquises insuffisantes

333 Afin d'éviter qu'un participant n'obtienne que peu d'acquis effectifs après avoir suivi sérieusement une unité, trois moyens
 334 pédagogiques sont mis en œuvre :

- 335 • Une pédagogie basée sur l'expérience qui permet de mieux se souvenir des acquis théoriques en les reliant à des
 336 exemples concrets et vécus ; par exemple, grâce à l'outil GRIF (GRIF, 2024) mis à disposition, les participants peuvent
 337 modéliser un système et découvrir ou vérifier des connaissances générales sur la fiabilité ou la disponibilité.
- 338 • Une pédagogie rendant actif l'étudiant afin de mobiliser son cerveau par des questionnements permanents et donc retenir
 339 les notions présentées.
- 340 • Une pédagogie valorisant les acquis ; par exemple, le « Journal de bord » déjà mentionné permet au participant de
 341 témoigner de ses acquis en générant son livre de cours dont il est l'auteur.

342 V. APPLICATION

343 Les 4 types de moyens ayant permis de maîtriser les risques cités, à savoir la pédagogie, le contenu des unités de formations,
 344 les supports (ressources) des unités, et la plate-forme accueillant des unités de formation, ont été utilisés pour offrir actuellement
 345 24 unités de formation d'environ 15 heures chacune, abordant divers aspects de la sécurité industrielle.

346 Parmi celles-ci, 4 unités concernent plus particulièrement la « Sûreté de fonctionnement des systèmes de sécurité et de
 347 production » :

- 348 • Introduction à la modélisation et au calcul des probabilités
- 349 • Introduction aux analyses quantitatives, données de fiabilité et approche Markovienne
- 350 • Approche booléenne
- 351 • Simulation de Monte Carlo et Réseaux de Petri

352 Elles sont dérivées du livre « Reliability Assessment of Safety and Production Systems » (Signoret, 2021) dont les chapitres
 353 en ligne ont été téléchargés plus de 41000 fois (mars 2024). Il a été décidé de réaliser le MOOC en français pour mettre à
 354 disposition de la communauté francophone le contenu de l'ouvrage rédigé en anglais et une convention a été passée entre l'INSA
 355 et TPA pour ce faire.

356 Lors de ce travail de mise à disposition de ces 4 unités, des échanges entre l'auteur (Jean-Pierre Signoret) et les personnes de
 357 l'INSA Toulouse (Léonore Mahieux et Gilles Motet) aidant à la scénarisation des unités et réalisant leurs implantations, nous a
 358 conduit à construire la réflexion dont les résultats sont présentés dans cet article.

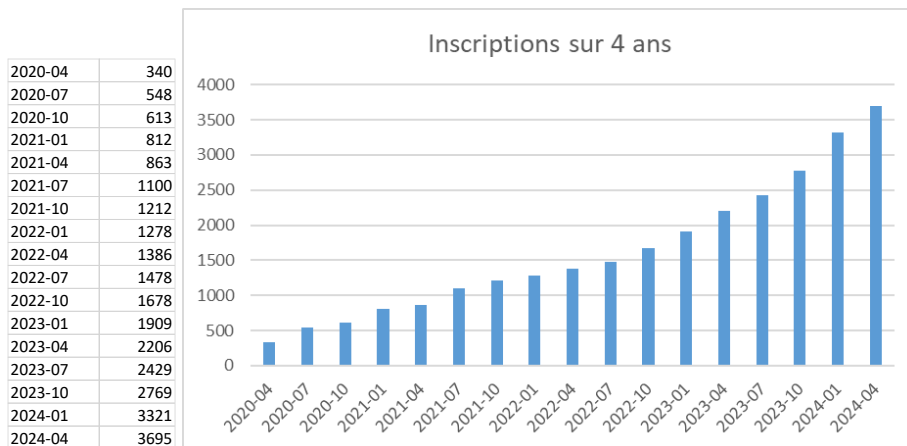
359 VI. EVALUATION / RETOUR D'EXPERIENCE

360 Nous enregistrons de nombreuses données anonymisées afin de mieux comprendre les usages des unités et d'améliorer les 4
 361 composantes mentionnées (pédagogie, contenus des unités, supports des unités, et plate-forme) pour réduire les 4 risques
 362 identifiés (méconnaissance ou non utilisation, abandon du suivi, faible implication, absence d'acquis).

363 Ces données de retour d'expérience nous permettent de montrer l'efficacité des moyens de maîtrise des risques proposés et
 364 mis en œuvre.

365 A. Evaluation du risque résiduel de méconnaissance ou non utilisation

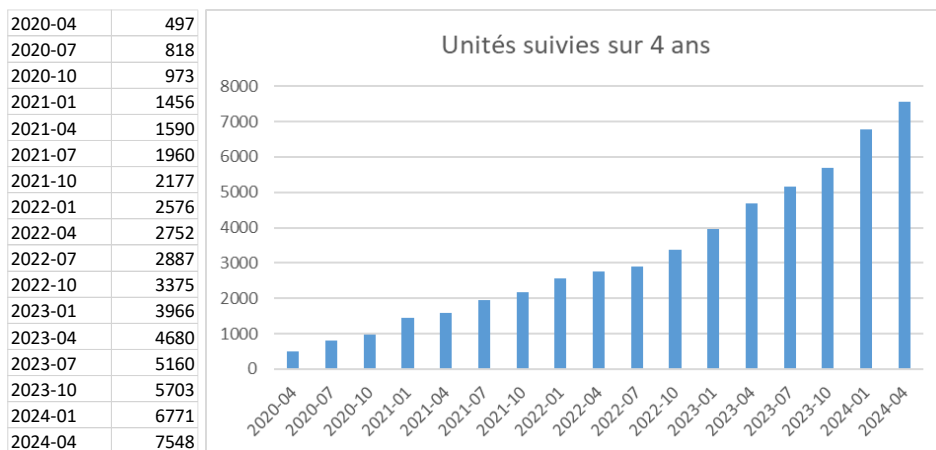
366 Fin mars 2024, 3700 personnes issues de 130 pays sont inscrites sur la plate-forme. La courbe de croissance des inscriptions
 367 montre la montée en puissance de la notoriété et l'intérêt croissant des utilisateurs (cf. figure 4).



368 Fig. 4. Un nombre croissant d'utilisateurs depuis 2020
 369

370 Certains inscrits ne font que consulter les contenus sans s'engager dans le suivi de formations. Il s'agit d'environ 1000
 371 personnes sur 3700, soit 27% de curieux.

372 Si on exclut ces personnes, fin mars 2024, plus de 7500 unités ont été suivies. La courbe de croissance des inscriptions à ces
 373 unités montre aussi la montée en puissance de l'engagement aux unités proposées (cf. figure 5).



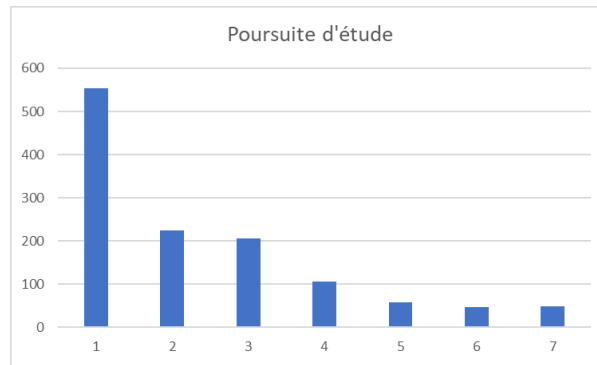
374 Fig. 5. Un nombre croissant d'unités suivies depuis 2020
 375

376 B. Evaluation du risque résiduel d'abandon du suivi

377 A partir du nombre d'inscrits aux unités et du nombre d'inscrits ayant terminé chaque unité, nous pouvons déduire un taux
 378 d'abandon de 30%. Des études montrent que les taux moyens d'abandon se situent entre 40 et 55% (Dussarps, 2014), voire 70%
 379 (Sorensen, 2017), 85% (Hollands, 2018), ou même autour de 96% (Reich, 2019). Même si les contextes sont sans doute différents,
 380 les efforts pour minimiser les défections portent leurs fruits puisque notre retour d'expérience montre des chiffres de 25 à 70%
 381 plus faibles que ceux mentionnés ci-dessus.

382 Un second chiffre intéressant est la poursuite d'unité dans le cas où un sujet donné offre la possibilité de continuer l'étude
 383 grâce à plusieurs unités. C'est le cas sur notre plate-forme pour le module « Process safety » qui offre 7 Unités depuis plusieurs
 384 années. La figure 6 montre qu'un grand nombre d'étudiants (550) ne suivent que la première unité introductive mais qu'ensuite

385 le taux de fidélisation reste important : 60% des personnes passent à la seconde et à la troisième unité puis la moitié à la quatrième ;
386 et la moitié de ces derniers suivent les 3 dernières unités. Rappelons que chaque unité nécessite au moins 15 heures d'étude, ce
387 qui veut dire qu'un étudiant ayant suivi 7 unités a travaillé volontairement durant plus de 100 heures, en complète autonomie.



388 Fig. 6. Taux de fidélisation du module "Process safety"
389

390 C. Evaluation du risque résiduel de faible implication

391 Nous ne disposons actuellement pas de moyens de mesure sur l'implication, si ce n'est à travers les résultats obtenus par les
392 utilisateurs, fournis ci-après.

393 D. Evaluation du risque résiduel de l'absence d'acquis

394 Les acquis des participants sont mesurés à partir des résultats des quiz. Ils sont fournis à chaque participant en temps-réel, et
395 utilisent une échelle de 3 valeurs :

- 396 • Inférieur à 25% : résultat largement insuffisant pouvant sans doute caractériser un manque d'implication suffisant
- 397 • Entre 25 et 50% : résultat insuffisant
- 398 • Entre 50 et 100% : bon résultat.

399 Nous pouvons fournir deux chiffres synthétiques :
400

- 401 • Si on considère l'ensemble des participants effectifs, à la date de la mesure (mars 2024),
 - 402 ○ 4% ont un résultat inférieur à 25%,
 - 403 ○ 14% ont un résultat entre 25 et 50% et
 - 404 ○ 82% ont un résultat supérieur à 50%.Ces chiffres incluent également les personnes actuellement en cours de formation.
- 405 • Si on considère uniquement les participants ayant terminé les unités, les résultats sont distribués de la façon suivante :
 - 406 ○ 3% ont un résultat inférieur à 25%,
 - 407 ○ 11,5% ont un résultat entre 25 et 50% et
 - 408 ○ 85,5% ont un résultat supérieur à 50%.

409 On peut donc considérer que les acquis obtenus sont d'un niveau correct pour plus de 85% des participants.
410

411 VII. CONCLUSIONS

412 La sûreté de fonctionnement offre une approche nouvelle, inusitée et pourtant pertinente de la conception des systèmes de
413 formation en ligne. Certainement, de nombreux principes, méthodes et techniques qu'elle offre permettraient d'améliorer
414 davantage nos propositions introduites dans cet article.

415 Nous pouvons cependant dès à présent tirer des premières leçons, au nombre de trois :

- 416 • Quatre événements redoutés doivent être pris en compte : la méconnaissance ou non utilisation de la plate-forme,
417 l'abandon en cours de formation, l'implication insuffisante, et l'acquisition insuffisante de connaissances (malgré un suivi
418 complet et sérieux). Ces risques sont initialement très élevés.
- 419 • Des moyens de maîtrise des risques peuvent être proposés en agissant sur quatre composantes : l'approche pédagogique,
420 sa mise en œuvre dans les unités de formation, les supports de formation, et les fonctionnalités de la plate-forme accueillant
421 les unités.
- 422 • Leur efficacité peut être évaluée par le retour d'expérience et ainsi démontrée globalement. Il est cependant difficile de
423 déterminer les impacts respectifs des quatre composantes mentionnées sur la réduction des quatre risques identifiés.

424 Nos résultats ont mis en valeur l'importance d'investir dans la pédagogie et dans la plate-forme, d'avoir des équipes de
425 développement dédiées, et de travailler en collaboration avec de nombreux experts et pas seulement au sein d'un seul
426 établissement aux capacités immanquablement limitées.

427 Parmi les résultats obtenus, l'efficacité de la pédagogie basée sur "Experiential Learning Theory" nous semble essentielle.
428 Dans les unités développées jusqu'alors (mars 2024), elle a fréquemment mobilisé des situations de la vie quotidienne auxquelles
429 les étudiants pouvaient s'identifier aisément car soit ils les avaient expérimentées, soit ils pouvaient les imaginer. A partir de la
430 seconde unité développée sur la « Sûreté de fonctionnement des systèmes de sécurité et de production », l'apprentissage
431 expérientiel est utilisé sur des sujets techniques grâce à l'emploi de l'outil GRIF par les participants. Ceux-ci peuvent en effet
432 tirer des acquis de l'expérience à travers la découverte via l'expérimentation sur des exemples simples mais non triviaux. Ceci
433 permet non seulement un transfert de connaissances (savoirs) mais aussi de compétences : savoir-faire associé à des pratiques,
434 compréhension de l'usage des techniques de modélisation et calculs pour en faire un choix pertinent, manipulation d'un outil de
435 calcul implémentant l'état de l'art, etc. Cette seconde unité étant lancée en même temps que cet article est écrit, nous pouvons en
436 partager les premières conclusions lors de la présentation.

437 Même si nous avons démontré la possibilité de développer des formations en ligne efficaces et avons perçu ses nombreux
438 intérêts (partage de formations, communication sur l'expertise des établissements, etc.), un changement culturel des
439 établissements universitaires reste à faire. Il s'agit de sortir de son cadre « théâtral » limitant les formations aux 3 unités définies
440 au XVIIIème siècle :

- 441 • unité de lieu : seuls les étudiants présents dans la salle de cours bénéficient de la formation ;
- 442 • unité de temps : leur présence est régie par le planning des cours, et
- 443 • unité d'action : le sujet abordé en cours est imposé par la définition d'un programme de formation.

444 Nous terminerons par un appel aux experts rassemblés dans ce congrès : n'hésitez pas à participer à l'aventure pour transmettre
445 vos expertises (« know-how ») dans vos domaines de compétence. C'est un bon moyen de les valoriser, d'éviter qu'elles se
446 perdent, de laisser une trace pour l'avenir, de créer de l'émulation, de former les générations futures (pour leur éviter de réinventer
447 l'eau tiède !) et, pour les plus âgés, d'occuper votre temps libre !

448 REMERCIEMENTS

449 Les auteurs remercient TPA (TotalEnergies Professeurs Associés) et les autres sociétés ayant permis le développement des
450 unités de formation disponibles sur SEAMOnLine, et ainsi de donner l'accès à la connaissance à des milliers de personnes de par
451 le monde. Nous remercions également TotalEnergies et SATODEV pour la version de GRIF concourant largement à la création
452 d'unités de formation basées sur des études de cas. La réalisation de ces unités et le maintien de la plate-forme les accueillant
453 sont possibles grâce à l'engagement constant du C2IP (Centre d'Innovation et d'Ingénierie Pédagogique) de l'INSA Toulouse.

454 REFERENCES

- 455 (Chen, 2024) Shuting Chen, Julius Simon, "The Influence of e-learning on Students' Learning Motivation in Jiangsu
456 University", International Journal of Education and Humanities, Vol. 12, n° 1, Ilmu Inovasi Nusantara
- 457 (DEAP, 2020) Commission Européenne, « Plan d'action en matière d'éducation numérique (2021-2027) »
458 <https://education.ec.europa.eu/fr/focus-topics/digital-education/action-plan>
- 459 (Dussarps, 2014) Clément Dussarps, « Abandons et écarts entre l'offre de formation, les attentes et le vécu des étudiants
460 dans les dispositifs de FOAD », <https://hal.science/hal-01271510>
- 461 (Bouchrika, 2024) Imed Bouchrika, "E-learning statistics: 2024 Data, Analysis & Predictions",
462 <https://research.com/education/elearning-statistics>
- 463 (FIED, 2024) Fédération Interuniversitaire de l'enseignement à distance, <https://www.fied.fr/>
- 464 (Formations à distance, 2024) <https://www.etudiant.gouv.fr/fr/formation-distance-1300>
- 465 (GRIF, 2024) <https://grif.totalenergies.com/fr>
- 466 (Hollands, 2018) Fiona Hollands and Aasiya Kazi, "Benefits and Costs of MOOC-Based Alternative Credentials 2017 -
467 2018 Baseline Survey Results", report of Columbia University
- 468 (Khazanchi, 2022) Deepak Khazanchi, Reinhard Bernsteiner, Thomas Dilger, Aleksander Groth, Peter J. Mirski, Christian
469 Ploder, Stephan Schlögl & Teresa Spieß, "Strategies and best practices for effective eLearning: lessons from theory and
470 experience", Journal of Information Technology Case and Application Research, vol. 24, n° 3, Routledge editor
- 471 (Kletz, 2001) Trevor Kletz, "Learning from Accidents", Elsevier
- 472 (Kolb, 2005) Alice Y. Kolb, David A. Kolb, "Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in
473 Higher Education", Academy of Management Learning & Education, 2005, Vol. 4, No. 2, JSTOR publisher
- 474 (Makarova, 2021) Elena Makarova, "Effectiveness of traditional and online learning: comparative analysis from the student
475 perspective", International Scientific Conference "Delivering Impact in Higher Education Learning and Teaching:
476 Enhancing Cross-Boarder Collaborations" (DIHELT 2021), EDP Sciences publisher
- 477 (Mayer, 2024) Richard E. Mayer, "The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning",
478 Educational Psychology Review, 36:8, Springer

479 (MonMaster, 2024) <https://www.monmaster.gouv.fr/> Recherche effectuée :
480 <https://www.monmaster.gouv.fr/recherche?referenceadvised=Sciences%20pour%20l'ing%C3%A9nieur&modality=Formation%20%C3%A0%20distance>
481

482 (NCES, 2022) National Center for Education Statistics, “Number and percentage of students enrolled in degree-granting
483 postsecondary institutions, by distance education participation, location of student, level of enrollment, and control and
484 level of institution: Fall 2021 and fall 2022”
485 https://nces.ed.gov/programs/digest/d23/tables/dt23_311.15.asp

486 (Reich, 2019) Reich, J. and Ruipérez-Valiente, J. A., “The MOOC Pivot”, Science, vol. 363, n° 6423, AAAS Publications

487 (Rifkin, 2014) Jeremy Rifkin, « La nouvelle société du coût marginal zéro », Edition Les liens qui libèrent.

488 (SEAM, 2008) “Safety Engineering and Management” Mastère spécialisé de l’INSA Toulouse,
489 <https://www.safety-engineering.org/>

490 (SEAMOnLine, 2018) <https://seamonline.insa-toulouse.fr/>

491 (Signoret, 2021) Jean-Pierre Signoret et Alain Leroy, “Reliability assessment of safety and Production Systems”, Springer
492 2021. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-64708-7>

493 (Sorensen, 2017) Sorensen, C. & Donovan, J., “An examination of factors that impact the retention of online students at a
494 for-profit university”, Online Learning, vol. 21, n°3, <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1154164.pdf>