

Management par les Risques de la Transformation Digitale

Risk-based management of digital transformation

MARLE Franck*
Université Paris-Saclay
CentraleSupélec / LGI
91170 Gif-sur-Yvette
franck.marle@centralesupelec.fr

VIDAL Ludovic-Alexandre
Université Paris-Saclay
CentraleSupélec / LGI
91170 Gif-sur-Yvette
ludovic-alexandre.vidal@centralesupelec.fr

ROSE Bertrand
Université de Strasbourg
ICube CNRS 7357
300 bd Sébastien Brant, 67412 Illkirch
bertrand.rose@unistra.fr

FILIPAS Ioana
Université de Strasbourg
BETA CNRS 7522
67085 Strasbourg Cedex
deniaud@unistra.fr

RAHOUI Farid
iQo
91 Faubourg Saint-Honoré, 75008 Paris
farid.rahoui@iqo.eu

MARMIER François
Université de Strasbourg
ICube CNRS 7357
300 bd Sébastien Brant, 67412 Illkirch
marmier@unistra.fr

BRENOT-VINCIGUERRA Paul
iQo
91 Faubourg Saint-Honoré, 75008 Paris
paul.brenot-vinciguerra@iqo.eu

Résumé - Pour assurer leur souveraineté, un nombre croissant d'organisations s'engagent dans une stratégie de Transformation Digitale (TD). Le but de nos travaux est l'amélioration de l'efficacité et de l'efficience de l'organisation et de son réseau par la gestion des risques de sa TD. Cette dernière doit permettre de traiter certains risques présents dans le fonctionnement actuel de l'organisation (risques primaires). Cependant, de nouveaux risques apparaissent lorsqu'elle décide de s'engager dans une TD (risques secondaires). Les sources de risque sont multiples : technologiques, humaines, organisationnelles et environnementales. Ces risques peuvent apparaître à la fois dans le fonctionnement interne de l'organisation mais également lors des interactions avec son réseau. La perte de visibilité sur les effets des risques primaires et secondaires est d'autant plus probable que le nombre de parties prenantes est grand. Les travaux présents dans la littérature se limitent souvent aux risques primaires. L'originalité des travaux présentés dans cet article est de proposer une approche permettant d'établir un diagnostic de l'organisation et de son réseau lui permettant de réussir sa TD en développant une stratégie appropriée de gestion des risques associés à cette TD. Pour caractériser la situation initiale, le niveau de maturité de chaque organisation/réseau est évalué sur les différents domaines de la TD. Un projet de TD est proposé en sélectionnant un ensemble pertinent et cohérent d'actions caractérisées par leurs impacts ainsi que les risques associés à ces actions à plusieurs niveaux (réseau, organisation, projet). La modélisation des risques primaires et secondaires, des actions primaires et secondaires et des interdépendances entre tous ces éléments permet ainsi de déterminer un plan de réponse aux risques adapté à la complexité à la fois du système impacté, l'organisation, et du système impactant, le projet de TD.

Mots-clefs — *digitalisation, risques secondaires, stratégie de transformation, maturité digitale, réseau d'organisations, industrie du futur*

Abstract — To ensure their sovereignty, a growing number of organizations are embarking on a Digital Transformation strategy. The aim of this work is to improve the effectiveness and efficiency of the organization and its network by managing the risks of its Digital Transformation. The latter is designed to deal with certain risks present in the organization's activities (primary risks). However, new risks emerge when an organization decides to engage in Digital Transformation (secondary risks). There are many sources of risk: technological, human, organizational and environmental. These risks may arise both in the organization's internal operations and in its interactions with its network. The greater the number of stakeholders involved, the more likely it is that visibility will be lost on the effects of primary and secondary risks. The work available in the literature is often limited to primary risks. The originality of the work presented in this article lies in the fact that it proposes an approach for diagnosing the organization and its network, enabling it to succeed in its Digital Transformation by developing an appropriate strategy for managing its associated risks. To characterize the initial situation, the level of maturity of each organization/network is assessed in the different areas of TD. A TD project is proposed by selecting a relevant and coherent set of actions characterized by their impacts, as well as the risks associated with these actions at several levels (network, organization, project). By modeling primary and secondary risks, primary and secondary actions, and the interdependencies between all these elements, we can determine a risk response plan tailored to the complexity of both the system impacted - the organization - and the system impacting it - the TD project.

Keywords — *digitalization, secondary risks, transformation strategy, digital maturity, business network, industry of the future*

36 I. INTRODUCTION

37 La Transformation Digitale (TD) se réfère aux changements liés à la mise en œuvre des technologies digitales, qu'elles soient
38 de calcul ou de communication (Tratkowska, 2020). Elle nécessite une adaptation à la fois des mécanismes de formulation
39 stratégique, de gouvernance, de management et d'organisation (Vial, 2019; Kraus *et al.*, 2021). Il est devenu nécessaire
40 aujourd'hui pour quasiment toutes les organisations de définir et mettre en œuvre une TD sur tout ou partie de leur périmètre.
41 Ne rien faire présenterait trop de risques par rapport à l'évolution des technologies et de la concurrence qui s'en saisira comme
42 avantage marketing et organisationnel. Il existe donc de nombreux risques, que ce soient les risques liés à la situation actuelle
43 ou les risques liés au processus de transformation, tant dans son exécution (efficacité) que dans son impact réel (efficacité).
44 Les sources de risque sont multiples : technologiques, humaines, organisationnelles et environnementales. Ces risques touchent
45 une organisation à la fois dans son fonctionnement interne mais également dans son intégration en réseau (avec des partenaires,
46 cotraitants, etc...).

47 Nous nous intéressons dans ces travaux à la transformation de l'organisation au travers de son métabolisme (ensemble des
48 processus et interfaces qui permettent au système de fonctionner), avec l'exemple particulier d'un réseau de PME. Le but
49 recherché est l'amélioration de ce métabolisme grâce à la TD, tant en efficacité (objectifs / résultats) qu'en efficacité (résultats
50 / efforts). Dans notre exemple, l'amélioration du fonctionnement de réseaux de PME aura également une conséquence positive
51 sur la souveraineté industrielle. Cela facilitera la dynamique de création de nouveaux réseaux, favorisera l'augmentation des
52 projets et des innovations issus de ces réseaux, ainsi que la résilience de réseaux existants. L'objectif est donc d'aider les
53 organisations à décider en dynamique du contenu de leur Projet de TD.

54 Toutefois, il n'est pas évident de savoir où et comment agir, dans quel ordre et avec quelle combinaison d'actions (Vial, 2019).
55 C'est une décision doublement complexe, étant donnée la complexité des systèmes impacté et impactant, respectivement le
56 système organisation (Beyer and Ullrich, 2022) et le système de Transformation Digitale (Hafseld, Hussein and Rauzy, 2021).
57 Nous utilisons à ce stade un processus permettant d'utiliser une notion unifiée en passant d'un système à l'autre, à savoir la
58 notion de risque. Il sera possible de s'appuyer sur des travaux précédents ayant déjà abordé la similarité des risques d'entreprise
59 et de projet (Desroches *et al.*, 2010), voire le lien qui existe entre l'espace des composants d'un système (acteurs, activités,
60 composants physiques, etc..) et les risques qui leur sont associés (notion d'espace dual) (Jaber *et al.*, 2014).

61 Nous définissons donc à ce stade la question de recherche suivante : "Comment aider à la construction du projet de
62 transformation digitale d'une organisation en se basant sur un processus de maîtrise des risques en contexte complexe ?". Il est
63 envisagé une application spécifique au contexte d'un réseau de PME. Pour cela, et c'est le plan de cet article, après une revue
64 de littérature et la description de la méthodologie suivie, nous verrons comment établir un diagnostic à partir de la notion de
65 métabolisme organisationnel et de ses risques associés (avant TD). Dans un second temps, nous verrons comment sélectionner
66 un ensemble pertinent et cohérent d'alternatives d'actions de TD, en étudiant à chaque fois leurs impacts potentiels, directs et
67 indirects, positifs et négatifs. Enfin, nous terminerons par quelques éléments de discussion et perspectives, puis une conclusion.

68 II. REVUE DE LITTERATURE

69 Nous focalisons dans cette communication sur deux éléments : la transformation digitale à travers des projets de transformation,
70 et les risques associés à cette transformation qu'on peut gérer en allant jusqu'aux notions de risques et actions secondaires.

71 A. *Projet de Transformation Digitale d'une organisation*

72 1) *Aspects généraux*

73 Les travaux concernant la transformation digitale des organisations sont relativement récents. Certains auteurs ont fait une
74 analyse bibliométrique sur « transformation digitale » et « stratégie de transformation digitale ». Kraus et co-auteurs ont trouvé
75 trois clusters bibliographiques (Kraus *et al.*, 2021) : 1/ les processus business et les conséquences organisationnelles de la
76 transformation digitale ; 2/ les technologies, ce qu'elles permettent et ce qu'elles nécessitent ; 3/ les conséquences sociales et
77 institutionnelles de la transformation digitale. De son côté, Tratkowska montre que l'aide à la décision dans le management des
78 processus opérationnels ainsi que dans la définition de stratégies de transformation digitale sont des éléments qui restent à
79 développer, au-delà de la dimension purement technologique système d'information / capteurs / IoT, etc. Pas grand-chose ne
80 porte sur l'aide à la définition de la stratégie elle-même, plutôt sur ses composants ou ses impacts (Tratkowska, 2020).

81 2) *Focalisation sur les barrières à la TD*

82 Des études se sont concentrées sur les barrières auxquelles pouvaient se heurter les démarches de transformation digitale des
83 entreprises. Singh et Maheswaran ont par exemple identifié les obstacles sociaux aux innovations durables et à la numérisation
84 au sein de la supply chain (Singh and Maheswaran, 2024). Leurs résultats indiquent que les circonstances liées au travail et les
85 interruptions d'emploi constituent les obstacles sociaux les plus importants et les plus influents. En particulier, les auteurs ont
86 souligné un manque de main d'œuvre qualifiée et expérimentée dans les technologies de numérisation comme I 4.0 pour mettre
87 en œuvre des innovations durables. Ceci peut à terme générer plusieurs risques au sein des équipes : une résistance au
88 changement, une crainte quant à la vulnérabilité liée à l'utilisation des technologies de numérisation, des frictions avec l'héritage
89 culturel et technologique de l'organisation, la crainte de fuites de données, de pertes d'emplois, ... En complément, d'autres
90 auteurs ont étudié la manière dont ces obstacles sont perçus par les employés des petites et moyennes entreprises (PME) par
91 rapport aux grandes entreprises (GE), en se concentrant notamment sur les obstacles techniques, individuels, organisationnels
92 et externes (Johannesson *et al.*, 2023; Packmohr, Brink and Paul, 2023).

93 B. *Maîtrise des risques primaires et secondaires et des actions de réponse primaires et secondaires*

94 1) *Les risques et leurs éventuelles interactions*

95 Les éléments constitutifs d'une organisation étant nombreux et en interaction, les risques relatifs au bon fonctionnement et à la
96 transformation de cette organisation vont l'être également. Il convient donc d'identifier des risques globaux, au niveau de
97 l'organisation, ainsi que des risques plus locaux, qui vont être du coup probablement reliés les uns aux autres. L'ensemble de
98 ces interactions font que les risques identifiés existent eux-mêmes dans un réseau de risques. Il existe plusieurs travaux sur le
99 management des risques interdépendants, souvent modélisés sous la forme de graphes (Wang, Qian and Goh, 2022), notamment
100 de réseaux bayésiens (Zhang, Bai and Kang, 2022) ou de matrices (Marle and Vidal, 2014). Les travaux de Zhang offrent
101 notamment un regard intéressant sur la nécessité de prendre en compte les interdépendances entre risques afin de sélectionner
102 les stratégies de réponses adéquates pour atteindre le meilleur niveau de performance possible pour le projet ou le système
103 organisationnel étudié (Zhang, 2016). Finalement, afin de modéliser les risques associés à la transformation digitale d'un
104 système organisation, il est important de déterminer non seulement une liste de risques / opportunités a priori, mais également
105 de convenablement formaliser le réseau d'interactions entre ces risques / opportunités, cette modélisation pouvant notamment
106 faire appel aux différents modèles et représentations préalablement cités (graphes, matrices, réseaux bayésiens...).

107 2) *Plan de réponse aux risques : les actions primaires*

108 Diverses approches ont été proposées pour déterminer un plan de réponse aux risques, souvent basées sur l'analyse un peu
109 systématique de la liste (ou registre) des risques avec des modèles de type analyse de probabilité / impact / criticité (agir sur les
110 plus probables et/ou les plus impactants et/ou les plus critiques au sens produit des deux). Celles-ci ne prennent pas souvent en
111 compte le réseau des risques et focalisent davantage sur l'analyse des risques un à un, comme s'ils étaient indépendants. Ces
112 dernières années, des méthodes plus avancées ont été régulièrement mises en œuvre pour intégrer de manière plus approfondie
113 la notion d'interaction entre risques. On peut citer les approches du nœud papillon (Guan, Servranckx and Vanhoucke, 2023),
114 des réseaux bayésiens (Arabi, Eshtehardian and Shafiei, 2022) ou de réévaluation des probabilités / impacts compte tenu des
115 interdépendances (Fang, Marle and Vidal, 2010). En parallèle de ces méthodes, les modèles d'optimisation pour déterminer la
116 stratégie optimale de réponse au risque ont fait l'objet d'une grande attention (Wang *et al.*, 2022; Yan *et al.*, 2022). Certains
117 travaux ont enfin focalisé sur la constitution de scénarios de traitement des risques par assemblage d'actions élémentaires
118 (Marmier, Filipas Deniaud and Gourc, 2014).

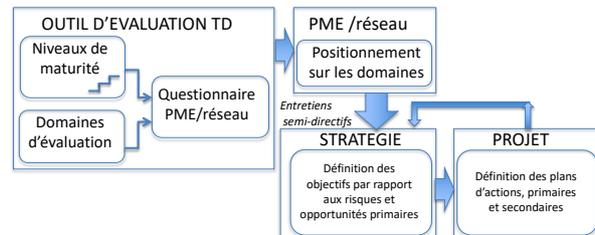
119 3) *Gestion des risques secondaires et des plans d'actions secondaires*

120 En complément de ces approches, d'autres travaux ont porté leur attention sur les risques secondaires, qui émergent en
121 anticipant les risques de l'implantation future des actions primaires (celles-ci étant comme toute action risquées). Ce concept
122 de risque secondaire paraît d'autant plus fondamental à prendre en compte dans ces systèmes complexes multi-parties prenantes
123 comme les organisations, dans la mesure où la perte de visibilité / d'information sur les effets secondaires est d'autant plus
124 probable que le nombre de parties prenantes est grand (Dastous *et al.*, 2008). Historiquement, de nombreuses approches telles
125 que le *Cumulative Impact Assessment*, le *Strategic Impact Assessment* ou des approches multicritères ont été mises en œuvre
126 pour étudier les risques secondaires, sans pour autant chercher à traiter la liste de risques dans son ensemble (Caspary, 2008).
127 Des travaux plus récents ont pu mettre en avant la nécessité de prendre en compte ces risques secondaires et ont proposé des
128 modèles d'optimisation (Zuo and Zhang, 2018; Parsaei Motamed and Bamdad, 2022). Dans la même veine, un algorithme
129 génétique a été utilisé pour optimiser les stratégies de réponse aux risques primaires, secondaires et résiduels de projets
130 industriels complexes (Tabatabay and Tabababay, 2023). Enfin, de leur côté, Wang et Bai ont développé un modèle multi-
131 parties prenantes basé sur la théorie des jeux afin de mieux définir le partage du coût et des impacts des risques entre partenaires
132 d'un système en prenant en compte les risques secondaires (Wang and Bai, 2023).

133 III. METHODOLOGIE

134 Depuis une dizaine d'années, de nombreux projets sont financés à tous les niveaux (du local à l'international) pour améliorer la
135 performance industrielle en profitant des progrès de la digitalisation. Par exemple, certains projets ANR ont focalisé sur
136 l'amélioration de l'exploitation des technologies (SHAIR), de l'information (REMIND 4.0), du lien Homme-Machine
137 (COLLABORATION-4_0) et des Jumeaux numériques (COHERENCE4D). Ces aspects sont très importants quel que soit le
138 type d'organisation mais dans le cas des réseaux de PME, ils laissent bien souvent de côté les drivers organisationnels et
139 humains aux interfaces entre organisations. Le projet ANR Futurprod insistait déjà sur ce point il y a 10 ans et à notre
140 connaissance, il n'existe pas dans la littérature de modèle intégré permettant de minimiser les risques de la transformation 4.0,
141 ni d'approche globale focalisée pour les PME travaillant en réseau. Cela suppose une transformation globale qui se déploie sur
142 plusieurs domaines : énergétique, écologique, numérique, organisationnel et sociétale (Staune, 2015). A partir de cette
143 hypothèse, un outil « Diagnostic Stratégie Compétences » (DSC) a été développé à l'université de Strasbourg en collaboration
144 avec des organisations de la région Grand Est (<https://dsc.unistra.fr/>) (Deniaud, Marmier and Michalak, 2020, 2022). Cet outil
145 permet d'évaluer le niveau de maturité digitale d'une organisation dans différents domaines et de la positionner par rapport aux
146 autres organisations de même type et même secteur d'activité ou d'autres organisations de son réseau.

147 La Figure 1 ci-dessous illustre le processus global. Celui-ci démarre par le diagnostic initial (évaluation TD) qui permet de
 148 dégager des risques et opportunités primaires. Chaque organisation sera évaluée d'abord individuellement pour obtenir son
 149 positionnement sur les différents domaines de la TD. Par la suite une analyse des organisations faisant partie d'un même réseau,
 150 nous donnera une image globale du niveau de maturité de ce réseau. Dans un deuxième temps, des entretiens semi-directifs
 151 seront conduits avec les organisations du réseau. A partir de ce positionnement individuel (la PME) et collectif (la PME dans
 152 son réseau), on dégagera un certain nombre d'axes de progrès souhaités (stratégie ou vision TD), puis d'actions pour aller vers
 153 ces objectifs (le projet de TD). Ces actions sont appelées primaires car elles sont une réponse aux risques et opportunités
 154 primaires. Comme tout projet, il contient des risques et des actions de réponse à ces risques, appelées ici du coup actions
 155 secondaires (par rapport au système d'étude qui est l'organisation).
 156



157
 158 *Figure 1 : processus depuis l'élaboration de l'évaluation initiale jusqu'à la définition du projet de TD*

159 L'implication dans des réseaux d'organisations en cours de transformation (programme "PerfoEst" du Pôle Véhicule du
 160 Futur) assurera la pertinence des contributions et aidera à la dissémination (par exemple Cap Digital, Systematic Paris-Région).
 161 De plus, les propositions seront validées par la réalisation de démonstrateurs (développements complémentaires spécifiques et
 162 usine école 4.0 "FleXtory") répondant à une problématique concrète issue du tissu industriel français et de tests dans un groupe
 163 de PME Pilotes ayant déjà participé dans le projet IDEX "DSC 4.0" de l'Université de Strasbourg.

164 **IV. RESULTATS**

165 Le problème de décision est de choisir le projet de TD le plus adapté afin d'avoir le meilleur impact sur l'organisation, au
 166 moindre coût et au moindre risque. Nous commençons donc par la modélisation de l'organisation, en utilisant l'approche
 167 systémique afin de montrer ce que le système veut, comment il fonctionne et se comporte aujourd'hui (trois des quatre axes de
 168 cette approche). Nous nous sommes intéressés à la triple dynamique des systèmes à savoir le régime nominal, le régime dégradé
 169 avec volonté de retour au régime nominal, et la transformation, désirée ou non désirée, qui amène vers un nouveau régime
 170 nominal. Cela nous a amené à une analogie avec les systèmes biologiques où les principes de métabolisme, d'homéostasie et
 171 d'allostasie sont interconnectés et jouent un rôle crucial dans le maintien de la santé et de la fonctionnalité globales du système.
 172 Ces principes peuvent être appliqués aux systèmes organisationnels afin de comprendre et d'améliorer leur adaptabilité, leur
 173 résilience et leur capacité de transformation (le quatrième axe de l'approche systémique). Cela permet de diagnostiquer où il
 174 serait pertinent d'agir, notamment en estimant les opportunités d'action et les risques en cas d'inaction, de report ou d'échec.

175 *A. La modélisation du système impacté, l'organisation*

176 Nous avons donc tout d'abord déroulé l'approche systémique avec l'enchaînement Finalités-Activités-Ressources-Évolution
 177 pour caractériser le système organisation, puis nous avons étudié des éléments originaux permettant de contribuer à la
 178 description d'une fonction objectif pour les transformations futures de cette organisation : métabolisme, homéostasie et
 179 allostasie d'un système organisationnel (Kretschmer and Khashabi, 2020).

180 *1) L'axe téléologique des finalités : ce que l'organisation veut.*

181 Différentes définitions des finalités de l'organisation existent, qui peuvent être d'assurer sa survie, d'apporter de la valeur à ses
 182 clients, à ses actionnaires, de maîtriser ses impacts environnementaux et sociétaux, etc... Dans ce champ de « quelle valeur est
 183 apportée à quelle partie prenante », la Transformation Digitale a déjà été reconnue comme vecteur, non seulement
 184 d'amélioration de la réalisation des finalités existantes, mais également de création de nouvelles finalités ou de nouvelles façons
 185 d'obtenir ces finalités (Vaska *et al.*, 2021). Il a notamment été évoqué la possibilité offerte par la TD de passer à un portefeuille
 186 de *business models* pour varier non seulement les finalités mais également les moyens d'obtenir cette palette élargie de finalités
 187 (Li, 2020). C'est la partie Vision de la transformation digitale, qu'on trouve souvent dans la littérature sous l'appellation
 188 Stratégie (même si elle recouvre parfois les finalités et les modalités globales pour atteindre ces finalités). C'est même cette
 189 notion qui devrait tirer la transformation digitale (en mode pull) et non pas la technologie qui devrait la pousser (en mode push).
 190 Nous allons maintenant voir les mécanismes mis en place pour atteindre ou aller vers ces finalités.

191 *2) Le métabolisme de l'organisation : ce qu'elle est et ce qu'elle fait*

192 Nous combinons ici les axes ontologique et fonctionnel de la systémique pour décrire en un élément unifié ce que nous appelons
 193 le métabolisme organisationnel. On distingue la façon dont les éléments sont structurés en statique de la façon dont ils sont

194 susceptibles d'interagir en dynamique. On parle ainsi d'architecture d'organisation, avec des liens de composition, de
195 rattachement, d'appartenance et de contribution. Aujourd'hui, cette architecture peut être décrite en fonction de la considération
196 de la transformation digitale qu'il faut entreprendre (Goerzig and Bauernhansl, 2018). L'ensemble des liens entre l'ensemble
197 des composants va donc être modifié selon ce que le processus (ou le lien) se déroule de manière physique ou virtuelle. Dans
198 un contexte d'organisation, le métabolisme peut être assimilé aux divers processus et activités qu'une organisation met en œuvre
199 pour réaliser et maintenir ses opérations, se développer, s'adapter aux changements du marché et atteindre ses objectifs
200 (Peltoniemi and Vuori, 2004). Le métabolisme organisationnel peut être défini comme « l'ensemble des processus par lesquels
201 une organisation transforme les ressources qu'elle reçoit (comme les matières premières, l'information, le capital humain) en
202 produits ou services ». Ces processus comprennent la production, la distribution, la consommation et l'élimination des
203 ressources. Comme dans un organisme biologique, ces processus sont interdépendants et doivent être régulés pour maintenir
204 l'équilibre de l'organisation et lui permettre de s'adapter à son environnement. En régime nominal, il s'agit déjà d'un système
205 dynamique, puisqu'il transforme des éléments de différentes natures (matière, énergie, information, argent) en autres éléments
206 ou combinaison d'éléments qui sont destinés in fine à être transmis aux clients de l'organisation. Il y a donc de nombreux
207 processus et acteurs, humains ou non, qui opèrent un certain nombre d'activités et ont un certain nombre d'interactions, que ce
208 soient des flux de matière, d'énergie, d'information, etc... La mesure du métabolisme organisationnel peut être réalisée en
209 quantifiant les flux à travers l'organisation et en évaluant l'efficacité et l'efficacité des processus. Cela peut impliquer la mesure
210 de la consommation de ressources, de la production de produits ou services, de l'efficacité des processus de production, ou
211 encore de l'impact environnemental de l'organisation.

212 3) *Un premier mode d'évolution élastique : l'homéostasie organisationnelle pour décrire la volonté de retour au régime*
213 *nominal*

214 L'homéostasie organisationnelle est un concept emprunté aux systèmes biologiques pour décrire la capacité d'une organisation
215 à maintenir un état interne stable malgré les perturbations externes. Cette analogie avec les organismes vivants permet de
216 comprendre comment les organisations peuvent persister et fonctionner efficacement dans un environnement changeant.
217 Dans le contexte organisationnel, l'homéostasie peut être définie comme « la capacité d'une organisation à réguler son
218 fonctionnement interne pour maintenir une condition stable et constante qui est nécessaire à sa survie ». Leong quant à lui la
219 définit comme « la capacité à maintenir un environnement interne stable malgré les fluctuations du marché extérieur » (Leong,
220 2023). L'organisation doit être plus ou moins prête à cette évolution élastique, pour résister à une perturbation, une contrainte,
221 et être capable de revenir à son état (Li *et al.*, 2021). Nous faisons donc ici d'ores et déjà une distinction entre l'aspect dynamique
222 à structure constante (on ne change pas ce que le système est et comment il est structuré, mais dans son fonctionnement il
223 exécute un certain nombre d'activités qui font qu'il a un comportement dynamique) et le côté dynamique de la structure elle-
224 même (on change la structure du système et donc la façon dont il va fonctionner).

225 4) *Un deuxième mode d'évolution plastique : l'allostasie comme principe décrivant la transformation permanente du*
226 *système vers un nouvel état avec un nouveau régime nominal*

227 L'allostasie organisationnelle désigne la capacité d'une organisation à maintenir la stabilité par le changement et l'adaptation en
228 réponse à des perturbations externes ou internes. Elle peut être définie comme « la capacité d'une organisation à anticiper,
229 répondre et s'adapter aux changements internes et externes pour atteindre et maintenir un nouvel état de fonctionnement optimal
230 ». Contrairement à l'homéostasie qui cherche à revenir à l'état actuel, l'allostasie implique des ajustements préventifs et réactifs
231 pour faire face aux défis et exploiter les opportunités (Autissier and Vandangeon-Derumez, 2021). Dans notre contexte,
232 l'allostasie peut donc être considérée comme l'ensemble des stratégies d'adaptation qu'une organisation emploie pour répondre
233 aux pressions externes ou aux changements du marché et qui amènent à des changements dans sa structure. Il peut s'agir de
234 modifier les modèles d'organisation, d'adopter de nouvelles technologies ou de restructurer l'organisation (Peltoniemi and Vuori,
235 2004). Là encore, la modélisation de l'allostasie organisationnelle peut s'appuyer sur des cadres systémiques qui cartographient
236 les interactions entre les processus internes et les influences externes. Pour qu'il y ait adaptation, il faut qu'il y ait stimulus. Il
237 ne s'agit donc pas cette fois d'un retour à l'état d'origine, mais d'une transformation qui amène vers un nouvel état nominal
238 avec un nouveau métabolisme. En termes de cible, il est plus simple de simuler comment le système pourrait ou devrait s'adapter
239 pour répondre à un stimulus, plutôt que d'imaginer tous les potentiels d'évaluation à partir d'un état donné. Il est à noter que
240 cette transformation peut être réversible ou non. Les bénéfices des transformations peuvent se perdre si on ne les confirme pas,
241 si on ne les entretient pas à la mesure du nouvel état atteint. La mesure de l'allostasie organisationnelle peut se faire à travers
242 des indicateurs de flexibilité, de réactivité et de capacité de transformation. Ces indicateurs peuvent inclure le temps de réponse
243 aux changements du marché, la vitesse d'implémentation de nouvelles technologies, ou encore l'efficacité des processus de
244 prise de décision.

245 B. *Identification et analyse de risques dans la situation actuelle sans TD (permettra de faire la comparaison avant-après)*

246 Il s'agit ici de focaliser sur les risques et opportunités en rapport avec la TD et en lien avec l'atteinte ou non-atteinte des finalités
247 de l'organisation (efficacité), ou bien avec la performance ou non-performance des ressources et activités permettant d'obtenir
248 les résultats (efficacité). Mitroulis et Kitsios ont proposé une structuration en cinq dimensions, qui correspondent à des finalités
249 que cette transformation peut viser (c'est donc un sous-ensemble de l'ensemble des finalités de l'organisation) : l'utilisation
250 d'une technologie, un changement dans l'expérience client, un changement dans le mode de création de valeur, un changement
251 dans la structure de fonctionnement et un gain financier (Mitroulis and Kitsios, 2019). Tekic et Koroteev identifient des

252 stratégies de transformation digitale en fonction de deux dimensions critiques : l'utilisation des technologies digitales et le degré
253 de préparation d'un modèle d'organisation au fonctionnement digital (Tekic and Koroteev, 2019). On peut donc à chaque fois
254 utiliser ces catégories pour imaginer des risques, opportunités ou événements hybrides (impact positif si on arrive, négatif si on
255 ne le fait pas ou ne le fait pas correctement).

256 On obtient en sortie une liste de RO (Risques et Opportunités) avec une exposition globale ERO (Exposition aux Risques et
257 Opportunités) schématisée sommairement pour l'instant dans l'équation (1) avec la notion classique de Criticité comme le
258 produit de la probabilité d'occurrence P et de l'impact I (qui a donc un signe).

$$259 \text{ERO} = \text{somme} (C_i) = \text{somme produit} (P_i, I_i) \quad i = 1..N_{RO} \quad (1)$$

261 C. La maturité digitale pour diagnostiquer les risques actuels et orienter les actions futures

262 L'évaluation de la maturité digitale a pour objectif de faire prendre conscience aux organisations évaluées des progrès qu'elles
263 doivent faire sur un ensemble d'axes pour atteindre les standards de l'Industrie du futur. Cette évaluation passe par un
264 questionnement permettant de statuer sur l'écart entre le niveau actuel et l'objectif fixé sur chacun des axes. Le besoin de gain
265 en maturité peut donc différer selon l'axe considéré et la situation. Plusieurs axes ont été proposés par Deniaud et al. (2020 et
266 2022), comme : *Qualité -Traçabilité, Gestion de flux, Cyber sécurité, ou encore Matériaux.*

267 1) De la maturité à l'identification des risques actuels

268 Sur l'axe Qualité-Traçabilité, le niveau de maturité le plus élevé correspond à l'exploitation de capteurs intelligents (Deniaud
269 et al.2020). Les processus des entreprises du réseau sont voulus comme interopérables. L'interconnexion des données permet
270 aux processus de s'adapter pour optimiser le fonctionnement du réseau d'entreprises. Il est possible d'accéder depuis n'importe
271 où aux données afin de piloter les processus. Si l'une des entreprises du réseau est à un niveau de maturité inférieur et n'effectue
272 par exemple qu'un suivi partiel des lots, cela signifie qu'elle sait lorsqu'un lot est lancé en production mais elle n'a pas
273 connaissance de son avancement dans le processus de fabrication. Le niveau global de maturité du réseau se retrouve donc
274 diminué au niveau de l'entreprise limitante. Les risques identifiables pour le réseau sont alors, par extrapolation, ceux qui
275 découlent de ce niveau de maturité et dans cet exemple : « perte de temps liée à la recherche manuelle des lots » ainsi que «
276 erreurs dans la saisie des données ».

277 2) De l'écart maturité/objectif à un plan d'action limitant les risques actuels (traitement des risques primaires)

278 Sur chacun des axes, la connaissance du niveau de maturité de chaque entreprise et la connaissance de l'objectif cible du réseau
279 permet de déterminer un plan de progrès cohérent. Le plan de TD est alors adapté à chacun des maillons du réseau et les
280 objectifs sont atteignables et cohérents. Dans l'exemple précédent, deux niveaux intermédiaires de maturité à atteindre peuvent
281 être proposés avant que l'entreprise ne puisse viser l'exploitation de capteurs intelligents. Le niveau directement supérieur serait
282 la « mise en place d'un système de management de la qualité (ISO 9001) avec suivi statistique des lots en cours de production ».
283 Le niveau suivant serait la « mise en place de capteurs conditionnels permettant de faire le suivi des pièces et le pilotage de la
284 qualité des produits ». L'entreprise pourrait suivre chaque pièce dans son processus de fabrication et remonter les informations
285 nécessaires telles que la traçabilité. Sur cette base, il deviendrait ensuite et seulement ensuite réaliste d'implémenter une
286 technologie à base de capteurs intelligents. Cela fait donc le lien avec la partie suivante qui parle des actions qu'on peut
287 envisager d'implanter à partir de ce genre de diagnostic.

288 D. La modélisation du système impactant, le Projet de Transformation Digitale (PTD) comme plan de réponse primaire aux 289 RO précédemment identifiés

290 Pour la modélisation du projet de TD et de ses impacts sur l'organisation, nous avons choisi de procéder par assemblage
291 d'actions interdépendantes en mesurant la performance et la cohérence de cet assemblage. Cela signifie que l'on cherche à
292 insérer dans le PTD des actions ayant des contributions positives par rapport aux performances de l'organisation (et ses risques)
293 et des bonnes relations de compatibilité/cohérence entre elles. Les impacts sont modélisés en passant par l'objet Risque et en
294 indiquant en quoi l'action individuelle de TD contribue à modifier la valeur des risques initiaux.

295 1) Identification des actions

296 On peut distinguer un certain nombre de types d'action au sein d'une stratégie de transformation digitale (Mapingire, Smuts
297 and Van der Merwe, 2022). Une liste de huit exemples de catégories d'action est donnée ci-dessous :

- 298 • Digitaliser l'expérience client,
- 299 • Digitaliser les produits et services,
- 300 • Digitaliser les modes de travail,
- 301 • Digitaliser les processus business,
- 302 • Améliorer la compétitivité grâce au digital,
- 303 • Faire croître l'organisation, que ce soit d'un point de vue valeur, revenu et part de marché,
- 304 • Réaliser la stratégie business à travers la transformation digitale,
- 305 • Innover grâce aux technologies digitales.

306 2) Description et modélisation de l'impact des actions

307 Il faut déterminer pour chaque action (ou type d'action) de TD sur quoi, comment et combien elle impacte telle ou telle partie
308 de l'organisation et de son métabolisme, y compris la maturité de certains composants ou flux organisationnels. L'impact peut
309 porter sur un ou plusieurs nœuds ou flux, peut être positif ou négatif, instantané ou retardé. Le progrès obtenu grâce à l'action
310 pourra se mesurer sur les échelles de maturité décrites précédemment ainsi que sur le métabolisme de l'organisation (efficacité
311 et efficience en dynamique). On voit donc à travers cela l'impact sur les risques primaires (pour aide à la décision) et la
312 possibilité d'utiliser ces mesures comme outil de pilotage (pour les actions de transformation). Comme vu précédemment, les
313 RO sont les risques et opportunités primaires de notre organisation, ceux que l'on veut maîtriser. Pour cela, on met en place
314 des actions primaires, ou actions de réponse aux risques primaires, supposées aboutir à des risques résiduels $RO' < RO$. On va
315 donc considérer la relation entre les actions primaires, ATD (Actions de Transformation Digitale), et les risques primaires, RO,
316 en indiquant une relation pondérée (une action touche plus ou moins le risque) et la possibilité d'une relation 1..n (une action
317 touche un ou plusieurs risques). On obtient donc une matrice **ATD – RO** qui représente l'impact désiré des actions sur les
318 risques primaires et qui permet d'en déduire une formulation modifiée de l'exposition résiduelle ERO' , comme illustré en (2).
319

320
$$ERO' = ERO - IATD \text{ (de façon schématisée)} \quad (2)$$

321 3) Construction d'un projet de TD comme assemblage d'actions élémentaires

322 Les caractéristiques qui permettent de déterminer l'inclusion ou non d'une ATD dans le plan global sont donc de deux types :

- 323 • Performance = impact sur RO et coût de mise en œuvre (coût au sens large, effort, énergie)
- 324 • Compatibilité = mesure de l'effet croisé de deux actions mises en même temps. Synergie ou au contraire diminution
325 de l'impact. Idem pour les ressources, effet d'échelle ou à l'inverse cannibalisation.

326 On assemble finalement un PTD en tant que vecteur (binaire puis numérique) qui inclut ou non les ATD possibles.

327 E. Les risques secondaires liés au déroulement de la transformation

328 Ces actions primaires présentent elles-mêmes des risques, dits risques secondaires. Nous distinguons les risques secondaires
329 liés à l'impact de l'action (RITD), c'est-à-dire le risque de ne pas avoir l'impact désiré, et les risques secondaires liés à
330 l'exécution de l'action, à savoir le risque d'avoir l'effet désiré mais avec un effort non désiré (RETD).
331

332 1) Les risques secondaires liés à l'impact des actions primaires : RITD

333 Nous considérons donc ici deux types de risques liés à l'impact d'un projet de TD : les risques d'avoir des effets non désirés
334 (RITD 1) et les risques de ne pas avoir les effets désirés (RITD 2). Il y a d'abord les effets secondaires non désirés des actions
335 primaires, qui dans certains cas vont diminuer un RO_i mais en augmenter (ou créer) un autre. On va donc enrichir la relation
336 entre les actions primaires, ATD, et les risques primaires, RO, en ajoutant la possibilité d'une relation positive ou négative (une
337 action peut aggraver un risque comme effet secondaire en parallèle de son action positive sur le risque initialement ciblé). Et
338 puis il y a les risques sur l'impact réel des ATD, appelés RITD 2. Ces risques vont amener à une valeur résiduelle qu'on
339 appellera ERO'' probablement moindre que ERO' . Pour schématiser, on pourrait considérer que $RO'' = RO' - RITD$ (le risque
340 total de perte sur l'impact de la transformation digitale), soit en dommage collatéral RITD 1 (l'ATD a un impact direct sur un
341 risque mais un autre impact, aggravant cette fois, sur un autre risque), soit en ciblage direct RITD 2 (l'ATD visait le risque en
342 question mais a un impact moindre que prévu). Cela débouche sur un enrichissement de la matrice **ATD-RO**, avec de nouvelles
343 cases (effets secondaires non désirés) et de nouvelles informations sur les cases existantes (pour amener de l'incertitude, du
344 flou, des intervalles). On va donc in fine avoir des impacts plus complexes et raffinés, puisqu'on pourra dire pour un évènement
345 donné que l'action aura un impact positif si elle réussit mais négatif si elle échoue (ou n'est pas lancée), ce qui est différent
346 d'un risque pur ou d'une opportunité pure (je gagne si je lance l'action mais ne perd rien si je ne la lance pas).

347 2) Les risques secondaires liés à l'exécution des actions: RETD

348 Le projet de transformation digitale va comme tout projet connaître des écarts dans son exécution par rapport à la planification
349 attendue. Il conviendra donc de piloter ces écarts qui porteront, soit sur l'atteinte des objectifs, soit sur l'effort et les ressources
350 à fournir pour atteindre ces objectifs. On parlera de problématiques d'efficacité ou d'efficience, l'idée étant toujours de voir
351 comment le PTD évolue en réel par rapport à sa trajectoire planifiée (AlNuaimi *et al.*, 2022). On peut citer également la notion
352 d'impact réciproque, la situation de l'organisation à un instant t pouvant impacter la situation du PTD à l'instant t+1 :
353 réorientation ou re-priorisation des finalités, mise à jour des ressources disponibles, mise à jour des capacités / freins par rapport
354 au changement, etc....

355 Par rapport à la spécificité de la nature de ces projets, on peut citer quatre causes qui peuvent remettre en question l'avancement
356 prévu :

- 357 • Le manque de compétences, notamment dans l'exploitation des données nouvellement créées et mises à disposition,
- 358 • Des résistances culturelles, que ce soit de la part des personnes censées « bénéficier » de la transformation ou de la
359 part des personnes actrices de cette transformation,
- 360 • Des délais dus à des soucis techniques par rapport à ce qui avait été planifié / promis, dans l'implantation des outils
361 ou des systèmes de stockage et de traitement des données,

- De façon plus globale, la complexité de ce genre de projets, avec les trois dimensions de structure, de technologie et de degré d'innovation qui s'entrechoquent et créent des risques aux intersections (Hafseld, Hussein and Rauzy, 2021). On peut donc modéliser cela sous forme d'une autre matrice **RETD-ATD**, puis formuler une nouvelle exposition résiduelle aux risques tenant compte de tout ça. Il est à signaler qu'on utilise le terme impact pour l'effet d'un risque sur un élément de l'organisation ou du projet, mais également pour l'effet d'une action sur un risque (que ce soit sa probabilité et/ou son impact). On peut le voir de façon très schématisée en (3), plutôt pour voir les différents termes et le signe de leur contribution :

$$ERO'' = ERO \text{ (exposition initiale) - IATD (impact des ATD) + ERITD (dommages collatéraux + impact incomplet des ATD) + ERETD (risques d'exécution)} \quad (3)$$

On retranche à l'impact (souhaité) des actions le risque de ne pas avoir cet impact souhaité (ERITD) et d'avoir l'impact mais avec un sur-effort non désiré. L'impact net d'une action ATD serait donc $IATD - ERITD - ERETD$. En remettant dans la formule principale $ERO'' = ERO - IATD_{net} = ERO - (IATD - ERITD - ERETD)$. On retombe donc sur l'équation (3).

F. Le plan secondaire de protection du plan primaire de transformation

Ces risques secondaires vont donc engendrer des actions de réponse secondaires (qu'on pourrait considérer comme primaires par rapport à la TD, mais nous allons considérer l'ensemble des deux systèmes pour garder la localisation des risques dont on parle). On va donc formuler des actions secondaires de traitement des risques du projet de transformation digitale (ASTD). Les actions qui vont porter sur l'impact des actions de TD (RITD, voir section E.1) vont être insérées dans une matrice **ASTD-RITD**. De façon similaire, les actions secondaires qui vont porter sur les risques d'exécution des actions primaires (RETD, voir section E.2) vont être formalisées dans une matrice **ASTD-RETD**. Ces actions secondaires vont donc diminuer les expositions aux risques primaires, ERITD et ERETD, qui deviennent respectivement ERITD' et ERETD', voir (4).

$$ERO''' = ERO - IATD + ERITD' + ERETD' \quad (4)$$

V. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Deux éléments sont à la fois des éléments de discussion et des perspectives au moment de la rédaction de cet article : la stratégie de résolution et le terrain d'application. Une des problématiques est que les deux peuvent être liés, le second contraignant le premier. Dans une réflexion pour l'instant libre sur les stratégies possibles de résolution, trois approches vont être étudiées : de l'IA, de l'optimisation et des heuristiques plus simples.

Concernant l'IA, elle peut être mobilisée à différents endroits du processus, pas seulement pour la résolution du problème, mais également pour sa formulation et notamment la modélisation de l'organisation. Des méthodes à base de *Graph Neural Networks* semblent prometteuses pour la modélisation du métabolisme de l'organisation et son diagnostic (efficacité, efficience, homéostasie). De plus, l'IA pourrait également aider à générer des actions en se basant sur des projets passés. Il s'agirait de proposer puis de simuler l'impact de telle ou telle action sur le métabolisme de l'organisation et ses risques associés. On pourrait également reconstruire a posteriori des règles de priorisation des actions, avec l'historique sur le pourquoi elles avaient été incluses et quel résultat effectif cela avait donné. Cela nécessitera bien sûr de la prudence sur les multiples facteurs qui ont conduit une action à avoir tel ou tel résultat.

Comme vu dans la section II, des stratégies dites d'optimisation (ou approchée) ont déjà été appliquées dans le domaine de la maîtrise de plans d'actions primaires et secondaires. La problématique sera très vite la quantité de données à fournir et du coup la difficulté à traiter le problème en un temps raisonnable. Des stratégies de découpage de sous-morceaux de l'organisation, ou de focalisation sur une dimension (les acteurs par exemple) seront donc à étudier, en sachant à chaque fois ce que l'on gagne et perd. On pourrait donc aboutir à une structure à plusieurs niveaux, avec des résolutions de sous-problèmes accompagnées d'une gouvernance globale pour faire le lien entre les sous-problèmes et surtout faire des arbitrages de ressources. Mais on pourrait imaginer une structure un peu décentralisée afin de pouvoir résoudre plus facilement chacun des sous-problèmes.

Enfin, et c'est en lien avec le second point sur les terrains d'application, il sera également possible en cas de nécessité de recourir à des heuristiques plus simples, qui permettraient par exemple de suivre un arbre avec des embranchements sur des critères ou des conditions sur des états, qui orienteraient en un nombre raisonnable d'étapes vers une recommandation. Ce serait probablement davantage adapté à des décisions élémentaires, à savoir inclusion oui/non de telle action ou choix entre un nombre raisonnable d'alternatives d'actions.

VI. CONCLUSION

L'objectif final de ce travail de recherche est d'aider grâce à la transformation digitale à l'amélioration du fonctionnement des organisations, que ce soit leur efficacité (rapport résultats / objectifs), leur efficience (rapport effort fourni / résultats), ou leur capacité à se transformer pour améliorer l'un ou l'autre. La problématique est, d'une part la présence de multiples risques et opportunités, d'autre part la complexité des systèmes impactés (l'organisation) et impactant (le Projet de Transformation Digitale). Cela engendre une grande difficulté à savoir précisément quoi faire, quand, où et avec quelle intensité, d'autant plus que les objets manipulés sont à la fois similaires et d'une grande diversité lorsqu'on parle d'un projet (temporaire et unique) ou d'une organisation (pérenne et récurrente).

419 Nous proposons donc d'unifier les éléments manipulés au sein d'un même processus qui permettra de maîtriser par les risques
420 la transformation digitale de l'organisation. Nous proposons d'utiliser en les déportant d'un cran les notions de risques et actions
421 de réponse aux risques, afin d'intégrer non pas un mais deux systèmes. Le système central étant l'organisation, les risques
422 secondaires pour cette organisation sont donc les risques primaires du projet de transformation de cette organisation. C'est la
423 première originalité de ce travail puisqu'il s'agit de formuler le problème de la transformation digitale des organisations sous
424 le prisme d'un processus de maîtrise des risques primaires et secondaires de cette transformation.
425 Notre première étape consiste à diagnostiquer l'état actuel de l'organisation, avant Transformation Digitale, afin d'en déduire
426 des risques et opportunités. Nous utilisons des notions de maturité digitale mais également un formalisme plus original car
427 importé d'autres systèmes, à savoir la notion de métabolisme organisationnel. Nous souhaitons en tirer ensuite, grâce à une
428 interaction avec les acteurs de l'organisation, un ciblage des différents objectifs qu'il serait pertinent de viser dans cette
429 transformation, ce qu'on appelle communément la stratégie (au sens vision). Puis nous faisons une seconde proposition sur la
430 partie plan d'actions en modélisant le Projet de Transformation Digitale comme un plan d'actions de réponse aux risques
431 primaires pesant sur l'organisation avant transformation. Cela nous permet de dérouler un processus assez classique de maîtrise
432 des risques allant jusqu'aux risques et actions secondaires, tout en apportant quelques originalités. Par exemple, l'impact d'une
433 action sur un risque pourra s'estimer selon plusieurs valeurs pouvant être de signes différents. Nous distinguons deux types de
434 risques liés à l'impact des actions : 1/ le risque d'avoir des impacts non désirés, sur d'autres éléments que le risque initialement
435 ciblé, directement et indirectement (réseau de risques) ; 2/ le risque d'avoir un impact moindre que celui envisagé au départ
436 (incertitude sur l'impact).
437 Enfin, nous gardons à l'esprit le compromis nécessaire entre les concepts théoriques qu'on pourrait imaginer et le pragmatisme
438 de s'adapter à un terrain réel en pratique.

439 REFERENCES

- 440 AlNuaimi, B. *et al.* (2022) 'Mastering digital transformation: The nexus between leadership, agility, and digital strategy',
441 *Journal of Business Research*, 145(March 2022), pp. 636–648.
- 442 Arabi, S., Eshtehardian, E. and Shafiei, I. (2022) 'Using Bayesian Networks for Selecting Risk-Response Strategies in
443 Construction Projects', *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(8), p. 04022067. Available at:
444 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002310](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002310).
- 445 Autissier, D. and Vandangeon-Derumez, I. (2021) 'Définition de la résilience organisationnelle par K. E. Weick', *Question(s)*
446 *de management*, 35(5), pp. 43–49. Available at: <https://doi.org/10.3917/QDM.215.0043>.
- 447 Beyer, U. and Ullrich, O. (2022) 'Organizational Complexity as a Contributing Factor to Underperformance', *Businesses*, 2(1),
448 pp. 82–96. Available at: <https://doi.org/10.3390/businesses2010005>.
- 449 Caspary, G. (2008) 'Assessing Decision Tools for Secondary Risks of Capital Projects Weighing EIA Versus More Complex
450 Approaches', *Management Decision*, 46(9), pp. 1393–1398. Available at: <https://doi.org/10.1108/00251740810912000>.
- 451 Dastous, P.A. *et al.* (2008) 'Risk management: All stakeholders must do their part', *Journal of Loss Prevention in the Process*
452 *Industries*, 21(4), pp. 367–373. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JLP.2008.01.003>.
- 453 Deniaud, I., Marmier, F. and Michalak, J.-L. (2020) 'Méthodologie et outil de diagnostic 4.0 : définir sa stratégie de transition
454 4.0 pour le management de la chaîne logistique', *Logistique & Management*, 28(1), pp. 4–17. Available at:
455 <https://doi.org/10.1080/12507970.2019.1693914>.
- 456 Deniaud, I., Marmier, F. and Michalak, J.-L. (2022) '4.0 Transition Methodology for Sustainable Supply Chain Management',
457 in *IFIP APMS Proceedings: Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient*
458 *Production Systems*,. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85914-5_66.
- 459 Desroches, A. *et al.* (2010) *Le management des risques des entreprises et de gestion de projet*. Edited by N. Manson. Paris:
460 Lavoisier.
- 461 Fang, C., Marle, F. and Vidal, L.-A. (2010) 'Modelling Risk Interactions to Reevaluate Risks In Project Management', in
462 *Proceedings of the 12th International DSM Conference—Managing Complexity by Modelling Dependencies*.
- 463 Goerzig, D. and Bauernhansl, T. (2018) 'Enterprise Architectures for the Digital Transformation in Small and Medium-sized
464 Enterprises', *Procedia CIRP*, 67(March 2018), pp. 540–545.
- 465 Guan, X., Servranckx, T. and Vanhoucke, M. (2023) 'Risk response budget allocation based on fault tree analysis and
466 optimization', *Annals of Operations Research*, pp. 1–42. Available at: [https://doi.org/10.1007/S10479-022-05155-](https://doi.org/10.1007/S10479-022-05155-8/TABLES/8)
467 [8/TABLES/8](https://doi.org/10.1007/S10479-022-05155-8/TABLES/8).
- 468 Hafsel, K.H.J., Hussein, B. and Rauzy, A. (2021) 'An attempt to understand complexity in a government digital transformation
469 project', *International Journal of Information Systems and Project Management*, 9(3), pp. 70–91. Available at:
470 <https://doi.org/10.12821/ijispm090304>.
- 471 Jaber, H. *et al.* (2014) 'Reciprocal enrichment of two Multi-Domain matrices to improve accuracy of vehicle development
472 project interdependencies modeling and analysis', in *16th International Dependency and Structure Modelling Conference,*
473 *DSM 2014*, pp. 329–338. Available at: <https://doi.org/10.3139/9781569904923.032>.
- 474 Johannesson, P. *et al.* (2023) 'Comparing Barriers to Digital Transformation between Small and Medium-sized and Large
475 Enterprises', in *International Conferences on e-Society and Mobile Learning*.
- 476 Kraus, S. *et al.* (2021) 'Digital Transformation: An Overview of the Current State of the Art of Research', *SAGE Open*, 11(3).
477 Available at: <https://doi.org/10.1177/21582440211047576>.
- 478 Kretschmer, T. and Khashabi, P. (2020) 'Digital Transformation and Organization Design: An Integrated Approach', *California*
479 *Management Review*, 62(4), pp. 86–104. Available at: <https://doi.org/10.1177/0008125620940296>.

480 Leong, S.K. (2023) 'Organizational Homeostasis: A Quantum Theoretical Exploration With Bohmian And Prigoginian
481 Systemic Insights', *Qeios* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.32388/4R1VW5>.

482 Li, F. (2020) 'The digital transformation of business models in the creative industries : A holistic framework and emerging
483 trends', *Technovation*, 92–93(November 2017), p. 102012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.12.004>.

484 Li, H. et al. (2021) 'Organizational mindfulness towards digital transformation as a prerequisite of information processing
485 capability to achieve market agility', *Journal of Business Research*, 122(February 2019), pp. 700–712. Available at:
486 <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.036>.

487 Mapingire, K., Smuts, H. and Van der Merwe, A. (2022) 'Components of a Digital Transformation Strategy: A South African
488 Perspective', *Lecture Notes in Networks and Systems*, 236(January), pp. 437–447. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-16-2380-6_38.

490 Marle, F. and Vidal, L. (2014) 'Forming risk clusters in projects to improve coordination between risk owners', *Journal of
491 Management in Engineering*, 30(4), p. 06014001. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000278](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000278).

492 Marmier, F., Filipas Deniaud, I. and Gourc, D. (2014) 'Strategic decision-making in NPD projects according to risk:
493 Application to satellites design projects', *Computers in Industry*, 65(8), pp. 1107–1114. Available at:
494 <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2014.06.001>.

495 Mitroulis, D. and Kitsios, F. (2019) *Digital transformation strategy : a literature review*.

496 Packmohr, S., Brink, H. and Paul, F.-H. (2023) 'Unraveling Perceptions of Barriers to Digital Transformation - Contrasting
497 Small and Medium-sized with Large Enterprises', *IADIS International Journal on Computer Science and Information Systems*,
498 18(1), pp. 102–119.

499 Parsaei Motamed, M. and Bamdad, S. (2022) 'A multi-objective optimization approach for selecting risk response actions:
500 considering environmental and secondary risks', *OPSEARCH*, 59(1), pp. 266–303. Available at:
501 <https://doi.org/10.1007/S12597-021-00541-5/TABLES/13>.

502 Peltoniem, M. and Vuori, E. (2004) 'Business Ecosystem as the New Approach to Complex Adaptive Business Environments',
503 in *Proc. eBusiness Res. Forum*, pp. 267–281. Available at:
504 [https://www.researchgate.net/publication/228985086_Business_Ecosystem_as_the_New_Approach_to_Complex_Adaptive_](https://www.researchgate.net/publication/228985086_Business_Ecosystem_as_the_New_Approach_to_Complex_Adaptive_Business_Environments)
505 [Business_Environments](https://www.researchgate.net/publication/228985086_Business_Ecosystem_as_the_New_Approach_to_Complex_Adaptive_Business_Environments) (Accessed: 12 January 2024).

506 Singh, P.K. and Maheswaran, R. (2024) 'Analysis of social barriers to sustainable innovation and digitisation in supply chain',
507 *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), pp. 5223–5248. Available at: [https://doi.org/10.1007/S10668-023-02931-](https://doi.org/10.1007/S10668-023-02931-9/FIGURES/2)
508 [9/FIGURES/2](https://doi.org/10.1007/S10668-023-02931-9/FIGURES/2).

509 Staune, J. (2015) *Les clés du futur. Réinventer ensemble la société, l'économie et la science*. Plon. Available at:
510 <https://www.alternatives-economiques.fr/cles-futur-reinventer-ensemble-societe-leconomie-science/00010098> (Accessed: 2
511 April 2024).

512 Tabatabay, A.M. and Tabababay, A.S. (2023) 'Strategy Optimization for Responding to Primary, Secondary, and Residual
513 Risks considering Cost and Time Dimensions in Petrochemical Projects', *Archives for Technical Sciences*, 2(27), pp. 33–48.
514 Available at: <https://doi.org/10.59456/AFTS.2022.0227.033T>.

515 Tekic, Z. and Koroteev, D. (2019) 'From disruptively digital to proudly analog: A holistic typology of digital transformation
516 strategies', *Business Horizons*, 62(6), pp. 683–693.

517 Tratkowska, K. (2020) 'Digital transformation: theoretical backgrounds of digital change', *Management Sciences*, 24(4), pp.
518 32–37. Available at: <https://doi.org/10.15611/ms.2019.4.05>.

519 Vaska, S. et al. (2021) 'The Digital Transformation of Business Model Innovation: A Structured Literature Review', *Frontiers
520 in Psychology*, 11(January). Available at: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.539363>.

521 Vial, G. (2019) 'Understanding digital transformation: A review and a research agenda', *The Journal of Strategic Information
522 Systems*, 28(2). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>.

523 Wang, J. and Bai, S. (2023) 'Evolutionary Game-Based Research on Risk Sharing in Major Projects under the EPC+PPP Mode
524 Considering Secondary Risks', *Buildings 2023, Vol. 13, Page 2443*, 13(10), p. 2443. Available at:
525 <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13102443>.

526 Wang, L. et al. (2022) 'Delay-oriented risk network model for project risk response decisions', *Computers and Industrial
527 Engineering*, 171. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108370>.

528 Wang, L., Qian, C. and Goh, M. (2022) 'Integrated Approach for Project Risk Assessment and Evaluation under Risk
529 Interactions', *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, pp. 2418–2429. Available at:
530 <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3174006>.

531 Yan, P. et al. (2022) 'Risk response incorporating risk preferences in international construction projects', *Engineering,
532 Construction and Architectural Management*, 29(9), pp. 3499–3519. Available at: [https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2019-](https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2019-0132/FULL/XML)
533 [0132/FULL/XML](https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2019-0132/FULL/XML).

534 Zhang, B., Bai, L. and Kang, S. (2022) 'Risk Response Strategies Selection over the Life Cycle of Project Portfolio', *Buildings
535 2022, Vol. 12, Page 2191*, 12(12), p. 2191. Available at: <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12122191>.

536 Zhang, Y. (2016) 'Selecting risk response strategies considering project risk interdependence', *International Journal of Project
537 Management*, 34(5), pp. 819–830. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2016.03.001>.

538 Zuo, F. and Zhang, K. (2018) 'Selection of risk response actions with consideration of secondary risks', *International Journal
539 of Project Management*, 36(2), pp. 241–254. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2017.11.002>.

540
541