

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix - Travail - Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

FACULTÉ DES SCIENCES

DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace - Work - Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE

DÉFINITION ET ANALYSE D'UN MODÈLE ALGÈBRIQUE D'UNE ORGANISATION 4.0 BASÉ SUR L'INGÉNIERIE DE DOMAINE : CAS DU SYSTÈME D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR AU CAMEROUN

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Recherche en
Informatique

Présenté par :
OLAMA AYISSI Désire Fils

Matricule :
16T2520

Superviseur : Pr. ATSA ETOUNDI Roger

Année académique 2021 / 2022





Université de Yaoundé 1
Département d'Informatique

**DÉFINITION ET ANALYSE D'UN MODÈLE
ALGÈBRIQUE D'UNE ORGANISATION 4.0 BASÉ SUR
L'INGÉNIERIE DE DOMAINE : CAS DU SYSTÈME
D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR AU CAMEROUN**

Présenté par :
OLAMA AYISSI Désire Fils

Matricule :
16T2520

Superviseurs : Pr. *ATSA ETOUNDI Roger*

Année académique 2021 / 2022

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à ma très chère famille.

REMERCIEMENTS

Je ne saurais commencer sans tout d’abord remercier le Dieu tout puissant pour m’avoir permis d’être en santé pour la réalisation de ce travail ; sans lui rien de ceci ne serait. Je témoigne mon infinie gratitude et ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail :

Au Pr. ATSA ETOUNDI Roger, à qui j’adresse ma reconnaissance et mes sincères remerciements pour m’avoir encadré, pour sa disponibilité, ses orientations dans le travail, ses encouragements et ses conseils. je ne saurais faire abstraction sur sa rigueur scientifique et son exigence qui m’ont accompagné tout au long de ce travail ; pour la méthodologie de recherche et la critique scientifique qu’il m’a enseignées.

Aux membres de mon jury de soutenance, pour m’avoir fait l’honneur d’accepter d’évaluer ce travail.

À Mr Nkondock Nicolas, au Dr. EKODECK Stephane et au Dr. MESSI Thomas, pour leurs encouragements et leurs conseils qui m’ont permis d’avancer dans ce travail.

À tout le corps enseignant de l’Université de Yaoundé 1 et en particulier du département d’Informatique, pour la transmission de leur savoir.

À ma famille, mes parents, mes sœurs et mon frère pour leur amour, leurs prières, leur soutien sans faille et indéfectible.

À Fongue Audrey , pour m’avoir prêté main-forte tout au long de ce travail, nos échanges et ses relectures.

À NGACHU Boldo, EBENE Charden, NSANGO Ahmed, MUGHE Godlove, BESSALA Cedric, TCHINDJE Eric, EDDY Valere et NDADEM Donal pour leurs encouragements.

À tous mes camarades et aînés académiques, pour nos échanges, particulièrement TCHUENTE Ghislain, ONANA Damase, EKWELLE Beril, TCHANA Lorna, FOTSO Damaris, NGUETOUM Armel , NGABA Franck et ONGOLO ATANGANA Martin, qui m’ont très souvent aidé dans la compréhension de mon travail.

À toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

RÉSUMÉ

Le monde est en pleine mutation. De plus en plus l'on assiste à l'intégration des TIC dans tous les secteurs d'activités. Le taux de pénétration des TIC dans la société va au-delà de 70%. Les organisations se lancent dans des processus de transformation digitale pour en tirer pleinement profit et optimiser la qualité de service offerte à leurs usagers. L'écosystème mondial est marqué par de fortes avancées technologiques à l'instar de l'IOT (Internet of Things ou internet des objets), l'IA (Intelligence Artificielle), la Blockchain et la numérisation des services. L'on assiste à une mutation vers l'industrie 4.0 avec des processus automatisés, la numérisation des services et des échanges de données instantanés via des canaux numériques sécurisés. Il est difficile aujourd'hui de voir une entreprise qui va fonctionner sans intégrer les TIC dans l'atteinte de la qualité de service interne et externe avec la pression de l'écosystème mondial qui est caractérisé par une concurrence de plus en plus accrue. Seules les organisations qui auront suivi l'évolution du monde induite par le digital survivront. Les autres seront amenées à disparaître laissant dans le désarroi total un grand nombre d'individus sans emplois. Non seulement les organisations vont subir des mutations profondes, il en est de même des ressources humaines qui y travaillent. Il est clair aujourd'hui et plus que jamais que les mutations induites par la transformation digitale vont non seulement transformer les organisations mais aussi les personnes et les services. Cette recherche tente ainsi de montrer comment fonctionneront les organisations de demain avec le digital. Pour se faire la recherche qualitative a été utilisée. Ce travail définit et analyse un modèle algébrique d'une organisation 4.0 en utilisant des techniques d'ingénierie de domaine. Dans cette recherche toutes les spécifications algébriques sont écrites en langage algébrique OBJ. Après comparaison du modèle d'organisation 3.0 à celui 4.0 projeté cette recherche ressort l'impact, les enjeux et perspectives de la transformation digitale dans une organisation. Le modèle définit a été appliqué au système d'enseignement supérieur qui constitue une algèbre.

Mots-clés : Transformation digitale, Organisation 4.0, Ingénierie de domaine, spécification algébrique.

ABSTRACT

World is in a constant state of flux. Increasingly, we assist to the integration of ICT in all business sectors. The penetration rate of ICT in society goes beyond 70%. Organisations embark themselves in processes of digital transformation to fully take advantage and optimize the quality of service offered to their users. The global ecosystem is marked by strong technological advances. IoT (Internet of Things), Artificial intelligence, Blockchain and robotics just to name a few, are increasingly becoming a major part of service in the management of services within organisations. A shift towards industry 4.0 is taking place with automated processes, the digitization of services and instant data exchange via secure digital channels. It is difficult today to see an enterprise that will work without integrating ICT in achieving the desired quality of service internal and external with the pressure of the global ecosystem which is characterised by increasing competition. Only those organisations that have kept up with the digital world will survive. Others will disappear, leaving a large number of people without jobs in total disarray. Not only will organisations undergo deep changes, the same will be applied to the human resources working there. It is clear that today, more than ever that the changes brought about by digital transformation will not only transform organisations but also people and services. This research tries to show how tomorrow's organisations will function with digital. To do this, qualitative research has been used. This work defines and analyzes an algebraic model of a 4.0 organization using domain engineering techniques. In this research, all algebraic specifications are written in the OBJ algebraic language. After comparing the 3.0 organizational model to the 4.0 projected one, this study highlights the impact, challenges, and prospects of digital transformation in an organization. The defined model was applied to the higher education system, which constitutes an algebra.

Keywords : Digital transformation, 4.0 organization , domain engineering , Algebraic specification

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction Générale	1
2	Connaissances de base	3
2.1	Ingénierie de domaine	3
2.1.1	Définitions	3
2.1.2	Couches d'ingénierie de domaine	3
2.1.3	La description de domaine	4
2.2	Spécifications et modèles algébriques	4
2.2.1	Structure d'une spécification	5
2.2.2	Langages de spécifications algébriques	6
2.3	Système de Transition	6
2.4	Évolution de la société	7
2.4.1	Industrie 1.0	7
2.4.2	Industrie 2.0	7
2.4.3	Industrie 3.0	7
2.4.4	Industrie 4.0	8
2.4.5	Industrie 5.0	8
2.5	Transformation digitale	9
2.5.1	Catalyseurs de la transformation digitale dans une organisation	10
2.6	Conclusion	11
3	DÉFINITION ET ANALYSE D'UN MODÈLE ALGÈBRIQUE D'UNE ORGA- NISATION 4.0	12
3.1	Modèle algébrique d'une organisation	12
3.1.1	Description d'une organisation	12
3.1.2	Définition d'un modèle algébrique	13
3.1.3	Modèle d'une activité	13
3.1.4	Modèle d'employé	15
3.1.5	Modèle de poste de travail	16
3.1.6	Modèle d'une organisation 3.0	18
3.1.7	Système de transition	19
3.1.8	Modèle d'une organisation 4.0	21
3.1.9	Impact de la transformation digitale	23

3.1.10	Enjeux de la transformation digitale	23
3.1.11	Perspectives de la transformation digitale dans une organisation	25
3.2	Conclusion	25
4	Application au système d'enseignement supérieur au Cameroun	27
4.1	Evolution des systèmes universitaires	27
4.1.1	Transition d'une éducation 1.0 à 5.0	27
4.2	Enseignement supérieur au Cameroun	30
4.3	E-readiness dans les pays en développement	31
4.3.1	Connectivité internet	31
4.3.2	Les TIC dans l'administration publique	32
4.3.3	Changement de paradigme dans l'enseignement supérieur camerounais	32
4.4	Système de transition	33
4.5	Modèle algébrique d'université 3.0	33
4.5.1	Description du modèle	34
4.5.2	Définition des modèles génériques de référence	36
4.6	Analyse du modèle	52
4.6.1	Impact	52
4.6.2	Enjeux	53
4.6.3	Perspectives	54
4.7	Validation du modèle	55
4.8	Conclusion	56
5	Conclusion et perspectives	57
	Bibliographie	58

TABLE DES FIGURES

2.1	Révolutions industrielles	8
2.2	Évolution du concept de société	9
2.3	Entreprise digitale	11
3.1	Système de transition	21
4.1	Education 3.0	28
4.2	Progression de l'éducation	30
4.3	Système de transition : pédagogie classique à pédagogie 3.0	33

LISTE DES TABLEAUX

4.1	Mode d'enseignement traditionnel	31
-----	--	----

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les TIC ont un impact significatif sur de nombreux secteurs de la société. Les TIC dans l'industrie et dans la gestion des services au quotidien sont devenus monnaie courante dans le monde entier[27].

Les organisations sont confrontées à l'opportunité et aux défis de l'intégration des technologies numériques pour soutenir et améliorer leurs processus. L'organisation qu'elle soit privée ou publique est en pleine mutation.

Ainsi, les organisations se lancent dans des processus de transformation digitale [3]. Le monde est marqué par des avancées technologiques remarquables. L'IOT (Internet of Things ou internet des objets) transformera la société. L'internet des objets représente une évolution du concept Machine-to-Machine (M2M) grâce à la coordination des machines, appareils et applications de plusieurs fournisseurs connectés à internet via plusieurs réseaux [17]. Ces dispositifs intelligents combinés avec d'autres technologies telles que l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique, la robotique et le cloud computing modifient radicalement le monde en développant de nouveaux services intelligents.

L'on assiste à la numérisation des services , il est beaucoup plus simple aujourd'hui de travailler à distance, un cadre en déplacement à l'étranger peut par exemple organiser une réunion avec ses collaborateurs grâce aux outils de vidéoconférence. Avec la robotisation des services les échanges et la communication au sein des organisations deviennent plus flexibles. Le gouvernement de San Francisco aux États-Unis utilise un « chatbot » pour aider les employés administratifs dans l'acquisition d'informations et l'amélioration de la communication. La police est également soutenue par un robot de sécurité qui patrouille dans une zone à risque présentant une forte criminalité [5]. Ainsi , les emplois mutent et le sens du métier évolue. Environ 50% des emplois seraient fortement menacés d'ici quinze à vingt ans ; au mieux, environ 10% des emplois seraient menacés mais la moitié des emplois existants seraient profondément transformés, sans pour autant disparaître [26]. La transformation digitale est une migration vers l'industrie 4.0. Elle se traduit par la conception, la fabrication, la gestion par le biais du digital. Elle est caractérisée par des gains massifs en termes de productivité, de fiabilité, d'adaptation aux besoins du consommateur et de rapidité [26]. Elle transforme la façon dont les personnes et entreprises mènent leurs activités. C'est un processus qui implique une refonte des différentes entités créatrices de valeurs au sein d'une organisation par le biais des TIC. Il est donc question d'un processus qui bouleverse complètement les méthodes de travail[3]. Il sera difficile de voir une organisation se passer des TIC dans la gestion de ses activités et garantir la qualité de service voulue en interne et par ses clients, avec la pression de l'écosystème mondial qui est caractérisé par une concurrence de plus en plus accrue et un effet réseau accentué.

Ainsi, les organisations seront dans l'obligation de suivre de manière active l'évolution du monde induite par le digital. Les organisations qui se montreront attentistes face à cet écosystème en profonde mutation seront victimes d'obsolescence en laissant dans le désarroi total un grand nombre d'individus sans emplois. Une étude menée par Eurostat affirme que : « les entreprises absentes de l'univers digital disparaîtront d'ici 10 ans » [19]. Il est clair aujourd'hui et plus que jamais que les mutations induites par la transformation digitale vont non seulement transformer les organisations mais aussi les personnes et les services.

Cette recherche tente ainsi de montrer comment fonctionneront les organisations de demain avec le digital. Pour se faire, cette étude constituera une recherche qualitative. L'approche qualitative contribue à une meilleure compréhension des interactions entre les sujets partant du fonctionnement des sociétés[24].

Dans ce contexte, l'ingénierie de domaine et la modélisation algébrique offrent des approches prometteuses pour la définition, l'analyse et l'optimisation des systèmes, en fournissant des outils et des méthodes formelles pour représenter et comprendre les interactions complexes entre les composants d'un système.

Pour la suite, ce travail a été organisé ainsi qu'il suit : le chapitre 2 présente quelques connaissances de base nécessaires pour la compréhension de ce travail. Le chapitre 3 porte sur la définition et l'analyse d'un modèle algébrique d'une organisation 4.0 en utilisant des techniques d'ingénierie de domaine. Enfin, le chapitre 4 présente l'application du modèle projeté au système d'enseignement supérieur au Cameroun.

CHAPITRE 2

CONNAISSANCES DE BASE

Ce chapitre présente certaines connaissances de base nécessaires à la compréhension de ce travail.

2.1 Ingénierie de domaine

Il semble raisonnable de s'attendre à ce qu'avant la conception d'un système, les concepteurs aient une bonne compréhension de ses exigences. Avant que les exigences puissent être exprimées, ils doivent avoir une compréhension raisonnable du domaine sous-jacent. Il semble donc raisonnable de structurer le développement d'un système en ingénierie de domaine. Dans l'optique de décrire et analyser « le domaine sous-jacent ».

2.1.1 Définitions

L'ingénierie de domaine est une discipline d'ingénierie qui s'intéresse à la construction de biens réutilisables, tels que des ensembles de spécifications, des modèles et des composants, dans des domaines spécifiques[7]. L'objectif de l'ingénierie de domaine est d'identifier, de modéliser, de construire, de cataloguer et de diffuser les artefacts qui représentent les points communs et les différences au sein d'un domaine [6].

Selon Dines Bjorner [7], par domaine on entend : un segment rationnellement descriptible, un segment dynamique discret, une réalité assistée par l'homme (entités solides et fluides). Ces entités pouvant être naturelles (données par Dieu) et artefactuelles (une fabrication humaine). Ces entités peuvent aussi être ce qu'on voit autour de nous (les plantes, les animaux et humains inclus).

Un domaine est en effet un ensemble de concepts, de termes, de caractéristiques, de relations et de règles qui définissent un secteur d'activité ou une application ou système spécifique [6].

2.1.2 Couches d'ingénierie de domaine

L'ingénierie de domaine traite de deux couches principales :

- La couche domaine, qui traite de la représentation des éléments du domaine.
- La couche application, qui traite les applications et les artefacts des systèmes d'information.

Les programmes, applications ou systèmes sont inclus dans la couche application, tandis que leurs caractéristiques communes et variables, telles qu'elles peuvent être décrites, par exemple, par des

modèles ou des normes émergentes, sont généralisées et présentées dans la couche domaine. Ainsi, l'objectif de l'ingénierie de domaine est de fournir les actifs de base réutilisables qui seront exploités au cours de l'ingénierie d'application, lors de l'assemblage ou de la personnalisation d'applications individuelles [6].

Tout comme les physiciens étudient le monde physique naturel en le dotant de modèles mathématiques, les informaticiens étudient ces domaines en les dotant de modèles mathématiques. Une différence entre les efforts des physiciens et les nôtres réside dans les outils : les modèles physiques sont basés sur les mathématiques classiques, les équations différentielles et les intégrales, etc..., nos modèles sont basés sur la logique mathématique, la théorie des ensembles et l'algèbre [7].

2.1.3 La description de domaine

La description d'un domaine d'après Dines Bjorner [7] met en exergue deux notions importantes : les **endurants** et les **perdurants**. Le premier, grosso modo « correspond » à des données ; le dernier correspond aux processus.

- **Les endurants** : il s'agit des entités physiques ou conceptuelles qui ont une existence dans le temps et l'espace. Comme des personnes, des lieux, des produits.
- **Les perdurants** : ce sont des entités dynamiques.

La description de domaine peut s'appréhender comme une combinaison de narration et de formalisation d'un domaine (modèle de domaine).

Les descriptions de domaine sont (devront être) dépourvues de toute référence à de futurs systèmes envisagés, sans parler des systèmes informatiques, qui pourraient prendre en charge des entités du domaine.

En tant que tels, les modèles de domaine peuvent être étudiés séparément. Pour eux-mêmes, par exemple, comme base pour étudier d'éventuelles théories de domaine, ou peuvent par la suite constituer la base d'une ingénierie des exigences en vue du développement de systèmes ("futurs"), et ainsi de suite.

Définition 1 (Spécification formelle). *Une spécification formelle est un ensemble de définitions de sortes ou attributs ou de type, de définitions de fonctions et de comportements, ainsi que d'axiomes et d'obligations de preuves contraignant les définitions. Un récit de spécification est un texte en langage naturel qui, dans des déclarations concises, introduit les noms de (dans ce cas, le domaine) et, dans certains cas, également les définitions, des sortes (types), des fonctions, des comportements et des axiomes (théorie du domaine)[7].*

2.2 Spécifications et modèles algébriques

Les spécifications formelles font partie d'une collection de techniques connues sous le nom de "**méthodes formelles**".

Les méthodes formelles ont à la base des représentations mathématiques du logiciel ou du matériel. Dans la classification des spécifications formelles, on note la classe de spécifications algébriques : Le système est spécifié en termes d'ensembles, d'opérations et de leurs relations ou propriétés.

2.2.1 Structure d'une spécification

Une spécification se structure comme suit :

- Les ensembles : ce sont des sortes ou attributs ;
- Les opérations : définissent un ensemble d'actions dans l'interface et leurs paramètres ;
- Les propriétés : il s'agit des axiomes, définissent la sémantique des opérations sous forme d'équations.

NB : Sortes + Opérations = signature.

Les sections suivantes présentent quelques définitions importantes décrites dans [13] et ce pdf¹.

Définition 2 (Signature). *Une signature est un couple $\Sigma = \langle S, F \rangle$, avec $s \subseteq \mathbf{S}$ un ensemble fini de sortes et $F = (F_{w,s})_{w \in S^*, s \in S}$ est un ensemble $(S^* \times S)$ – typé de noms d'opérations en $\mathbf{F}$. Les $f \in F_{\epsilon,s}$ sont appelés des constantes.*

Définition 3 (Ensemble S-typé). *Soit $S \subseteq \mathbf{S}$ un ensemble fini de sortes. Un ensemble S-typé A est l'union disjointe d'une famille d'ensembles indexée par S : $A = \bigcup_{s \in S} A_s$*

Définition 4 (Termes d'une signature). *Soit $\Sigma = \langle S, F \rangle$, une signature et X un ensemble S-typé de variables. L'ensemble de termes de Σ utilisant les variables de X est un ensemble S-typé $T_{\Sigma,X}$ avec chaque ensemble $(T_{\Sigma,X})_s$ définit inductivement par :*

- chaque variable $x \in X_s$ est un terme de sort s ;
- chaque constante $f \in F_{\epsilon,s}$ est un terme de sort s ;
- pour toute opération non constante $f \in F_{w,s}$ avec $w = s_1 \dots s_n$ et pour tout n -uplet de termes $(t_1, \dots, t_n)$ tel que $t_i \in (T_{\Sigma,X})_{s_i}$ si $(1 \leq i \leq n)$ alors $f(t_1, \dots, t_n)$ est un terme de sort s .

Définition 5 (Axiome simple). *Soit $\Sigma = \langle S, F \rangle$, une signature et X un ensemble S-typé de variables. Les axiomes sur les variables de X sont des égalités de termes $t = t'$ tels que $t, t' \in (T_{\Sigma,X})_s$.*

Définition 6 (Axiome conditionnel). *Soit $\Sigma = \langle S, F \rangle$, une signature et X un ensemble S-typé de variables. Les axiomes conditionnels sur les variables de X sont $t_0 = t'_0 \wedge \dots \wedge t_n = t'_n \implies t = t'$ tels que $t, t' \in (T_{\Sigma,X})_s$, $t_0, t'_0 \in (T_{\Sigma,X})_{s_0}, \dots, t_n, t'_n \in (T_{\Sigma,X})_{s_n}$.*

Définition 7 (Spécification algébrique). *Une spécification algébrique multi-sortes $Spec = (S, F, X, AX)$ est une signature $\Sigma = (S, F)$ et un ensemble d'axiomes AX sur un ensemble de variables X . On utilise aussi la notation $Spec = (\Sigma, X, AX)$.*

La sémantique d'une spécification algébrique est donnée par un modèle, c'est-à-dire une implémentation possible de la spécification.

Définition 8 (Modèle). *Soit $Spec = (\Sigma, X, AX)$ une spécification algébrique.*

L'ensemble de ses modèles $Mod(Spec)$ est l'ensemble de Σ – algèbres M tel que $\forall ax \in AX, \forall X, M \models ax$.

1. <https://www.irif.fr/~sighirea/cours/genielog/c4-spec-adt.pdf>

2.2.2 Langages de spécifications algébriques

L'écriture d'une spécification algébrique se fait à l'aide d'un langage de spécification algébrique.

Il existe plusieurs langages de spécifications algébriques. On peut citer entre autre Larch , ACT-ONE , OBJ etc.

Toutes les spécifications définies dans cette recherche seront écrites en langage OBJ de Joseph Goguen [14].

- **Syntaxe déclarative** : OBJ utilise une syntaxe déclarative qui permet de décrire les sortes (types), les opérations et les équations de manière claire et concise. Cette syntaxe facilite la création de spécifications formelles et la compréhension des propriétés algébriques.
- **Support de la logique du premier ordre** : OBJ intègre des concepts de la logique du premier ordre, ce qui permet de spécifier des relations logiques et des propriétés formelles. Il permet donc de décrire des lois algébriques, des régularités et des invariants.
- **Modularité et réutilisabilité** : OBJ offre une structure modulaire pour organiser les spécifications en utilisant des sous-modules et des stratifications. Cela facilite la réutilisation des composants spécifiés dans différentes parties ou projets.
- **Gestion de l'héritage** : OBJ prend en charge la définition de sous-sort et l'héritage dans les spécifications. Cela permet de définir des hiérarchies de sortes et de réutiliser des définitions à travers des sous-sorts.
- **Orienté Objet** : OBJ permet également de spécifier des structures de données orientées objet en utilisant des concepts tels que les classes, les instances et l'héritage.
- **Outils d'analyse et de vérification** : Il existe plusieurs outils et interpréteurs pour traiter les spécifications OBJ, permettant l'analyse automatique, la vérification de propriétés et la génération automatique de code.

Un système spécifié présente un ensemble d'états , l'application d'un certain nombre d'actions peut conduire à un ensemble de mutations et induire un nouveau système. Ceci met en relief la notion de système de transition.

2.3 Système de Transition

Un système de transition est un modèle mathématique qui capture le comportement d'un système en modélisant ses transitions d'état en réponse à des stimuli externes.

Définition 9. *Formellement, un système de transition est un tuple (S, Act, T, I) , où S est un ensemble d'états, Act est un ensemble d'actions, $T \subseteq S \times Act \times S$ est une relation de transition, et $I \subseteq S$ est un ensemble d'états initiaux. La relation de transition T spécifie les règles qui gouvernent la façon dont le système répond aux actions : une transition $(s, a, s') \in T$ indique que l'exécution de l'action a dans l'état s conduit à l'état s' . L'ensemble des états initiaux I spécifie les états à partir desquels le système peut démarrer.*

La société subie des mutations tous azimuts impulsés par des transitions d'une révolution industrielle à une autre.

2.4 Évolution de la société

La société est dans une constante évolution impulsée notamment par quatre grandes révolutions industrielles.

On est parti de l'industrie 1.0 à l'industrie 4.0. Bien que l'industrie 4.0 plonge la société dans de grandes problématiques du présent mais également du futures , Certains auteurs évoquent de plus en plus une industrie 5.0. À ces révolutions industrielles correspondent les révolutions de la sociétés. On parle de société 1.0 , 2.0 , 3.0 , 4.0 et pourrait également évoquer une société 5.0.

2.4.1 Industrie 1.0

La première révolution industrielle a commencé avec l'invention de la machine à vapeur [23]. Aujourd'hui, l'industrie a évolué à travers plus de quatre révolutions technologiques et sociales qui ont révolutionné les concepts industriels et les méthodes de fonctionnement. Les secteurs clés cibles étaient notamment la machine à vapeur , avec des mutation dans le domaine agricole. Elle induit une société 1.0 , société de chasse avec pour compétences requises : les compétences pour chasser et coexister avec la nature.

2.4.2 Industrie 2.0

Malgré tous les progrès précédemment cités, il restait encore une étape cruciale à franchir. L'industrie 2.0 a été développée lorsque l'électricité est devenue la principale source d'énergie et se caractérise par l'utilisation de moteurs électriques actionnés manuellement[21]. Les secteurs clés concernés par ladite révolution sont l'électricité avec notamment le moteur électrique , moteur à combustion interne , la chimie notamment la chimie de fer et la sidérurgie. Elle induit une société 2.0 , société agraire avec pour compétences requises : les compétences pour l'agriculture , l'irrigation...

2.4.3 Industrie 3.0

La troisième révolution industrielle a commencé dans les années 1970 avec une automatisation partielle utilisant les ordinateurs et les industries d'automatisation [21]. Avec l'utilisation de l'électronique et le développement des technologies de l'information (TI) dans cette révolution industrielle, la production a été encore plus automatisée. L'industrie 3.0 a été développée pour réduire les opérateurs et donc les coûts et se caractérise par l'utilisation de machines automatiques [23]. C'est aussi une révolution de l'information et de l'intermédiation, avec un essor considérable des télécommunications. Elle induit une société 3.0 , société industrielle avec pour compétences requises : les compétences techniques et de gestion.

2.4.4 Industrie 4.0

L'humanité a été témoin et expérimenté des progrès de trois révolutions industrielles précédentes et est maintenant sur le point de mettre en œuvre la quatrième, appelée Industrie 4.0 [23]. La révolution numérique de l'Industrie 4.0 se déroule depuis la dernière décennie grâce à l'introduction et à l'adoption des Systèmes Cyber-Physiques (CPS), de l'Internet des Objets (IoT), du Big Data, de l'Intelligence Artificielle, le cloud computing et des technologies d'automatisation [21]. Elle caractérise une période où l'application de la troisième révolution industrielle est rendue possible. Elle induit une société 4.0, société de l'information avec pour compétences requises : la créativité et la maîtrise de la technologie.

Alors que les organisations, adoptent et, dans certains cas, sont contraintes par les pressions concurrentielles à mettre en œuvre l'Industrie 4.0, certaines organisations envisagent déjà l'impact de l'Industrie 5.0. L'objectif principal de l'Industrie 4.0 est la numérisation qui adopte des machines et des systèmes intelligents pour automatiser et échanger des données ou même se contrôler mutuellement sans présence humaine [21].

À cet égard, l'avenir des organisations se façonne grâce au processus de numérisation.

2.4.5 Industrie 5.0

L'industrie 5.0 peut être vue comme une extension de l'industrie 4.0 axée sur la résolution des problèmes centrés sur l'humain. Il est question de l'industrie du futur.

Il existe différentes visions et thèmes concernant l'Industrie 5.0, mais la plus populaire est la coopération entre l'homme et le robot, qui met en évidence la nécessité pour les êtres humains et les machines de travailler ensemble. L'objectif est que les humains apportent leur créativité et leurs innovations, tandis que les robots sont utilisés comme systèmes intelligents pour effectuer les tâches requises [9]. Alors que la principale préoccupation de l'Industrie 4.0 concerne l'automatisation, l'Industrie 5.0 sera une synergie entre les humains et les machines autonomes [9]. Elle induit une société 5.0, société super intelligente avec pour compétences requises : les compétences inclusives et centrées sur l'humain.

Les figures 2.1 et 2.2 illustrent respectivement toutes les cinq révolutions industrielles et l'évolution du concept de société [2][8].

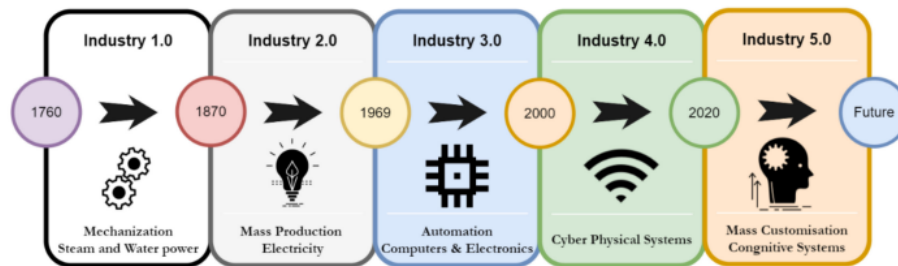


FIGURE 2.1 – Révolutions industrielles

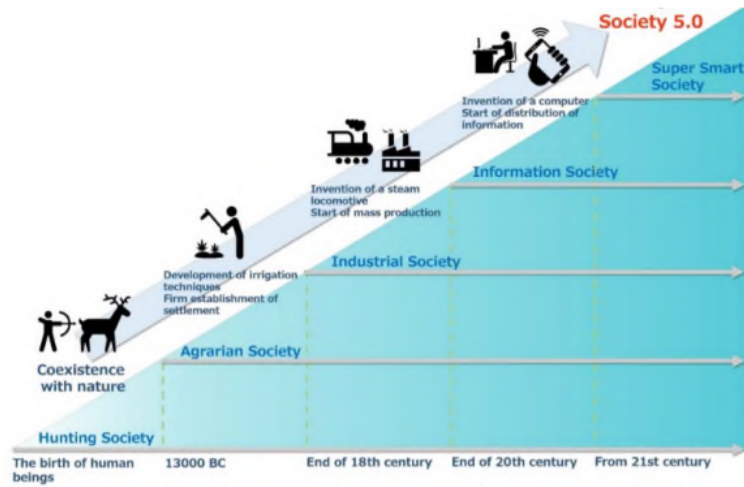


FIGURE 2.2 – Évolution du concept de société

Explicitement, l'Industrie 4.0 brouille les frontières entre les mondes physique, numérique et biologique, nous permettant de refaire le monde. Actuellement, pour intégrer les anciens et les nouveaux systèmes, les industries connaissent une migration évolutive de l'Industrie 3.0 vers l'Industrie 4.0 grâce à la numérisation ou transformation digitale [23].

2.5 Transformation digitale

La transformation digitale est un concept de plus en plus indispensable dans les organisations. Il s'agit d'un concept complexe de par son côté multifacette ne favorisant pas notamment une définition consensuelle. Nombreux sont ceux qui confondent d'ailleurs ce concept au concept d'informatisation. L'informatisation met en exergue les méthodes de gestion.

L'informatisation loin d'être la diffusion d'une innovation immuable, imbrique étroitement diffusion et innovation autour de l'ordinateur grâce au développement rapide d'un ensemble de technologies, les TIC, dans un mouvement d'innovation permanent [16].

Par contre la transformation digitale met en exergue des méthodes d'amélioration de la qualité de service, la création de valeur dans une organisation à l'aide des TIC et inclue les méthodes de gestion.

La transformation digitale est l'intégration des technologies digitales dans tous les secteurs d'une entreprise pour changer la façon dont celle-ci fonctionne et offrir de la valeur ajoutée à ses clients[19].

Il s'agit plus que de la mise en place d'une solution technologique, c'est un alignement entre technologies numériques, facteurs humains et organisationnels. Il est question d'une réaction d'une organisation aux changements qui se produisent dans son environnement en utilisant les TIC pour modifier la création de valeur[18].

Riemer définit la transformation digitale comme « *changements induits par le développement des technologies numériques qui se produisent à un rythme effréné, qui bouleversent la manière dont est créée la valeur, les interactions sociales, la conduite des affaires et, plus généralement notre façon de penser.* » [10].

2.5.1 Catalyseurs de la transformation digitale dans une organisation

La transformation digitale étant donc décrite comme une combinaison de l'automatisation, de la dématérialisation et de la réorganisation des schémas d'intermédiations [18] est accélérée par :

Une masse de données valorisées

Le développement et l'utilisation d'internet a favorisé l'émergence de masse de données brutes issues des interactions homme-machines et les objets connectés[12]. Les données doivent être traitées pour créer de la valeur au sein de l'organisation. La valorisation des données s'appuie sur des traitements informatiques impulsés par le Big Data. Ces traitements informatiques transforment les données en informations qui peuvent être utilisées à des fins prédictives[5].

Les données une fois valorisées contribuent à la création de valeur au sein de l'organisation. Elles favorisent la prédiction, la dématérialisation et l'automatisation. La valorisation des données nécessite ainsi l'usage des technologies adéquates.

Usages des technologies digitales

La valorisation des données est effectuée par des technologies numériques adéquates. Ces technologies se positionnent ainsi comme l'un des catalyseurs accentués de la transformation digitale au sein d'une organisation. Les entreprises qui traitent l'information sans industrialiser sa valorisation à l'aide des technologies numériques seront submergées par la masse de données [5].

Le premier apport de la technologie est celui de permettre l'automatisation des processus métiers de l'organisation.

En effet, différents logiciels et outils de robotiques peuvent traiter des demandes des clients sans qu'une intervention humaine ne soit nécessaire. La technologie peut aussi être utilisée pour organiser les données issues d'un processus. Ce qui permet d'obtenir l'information de gestion beaucoup plus rapidement. En ayant des données concrètes sur les performances du processus, les gestionnaires auront plus de facilité à prendre les décisions au quotidien.

La transformation digitale est de plus en plus une obligation pour les organisations car les données volumineuses et les technologies digitales en perpétuelle apparition s'inscrivent dans les mentalités et leur usage s'impose dans les comportements humains au quotidien. La technologie a augmenté les possibilités d'optimiser et de coordonner les chaînes d'approvisionnement, et a également mis l'accent sur la possibilité de créer des capacités pour concevoir, gérer et s'adapter plus rapidement à la structure du réseau.

La mise en place de ces technologies digitales par leur dimension communicante et ouverte, impacte l'organisation traditionnelle que l'on qualifie de structuro-fonctionnelle[4]. Il s'agit de la mutation vers l'entreprise digitale.

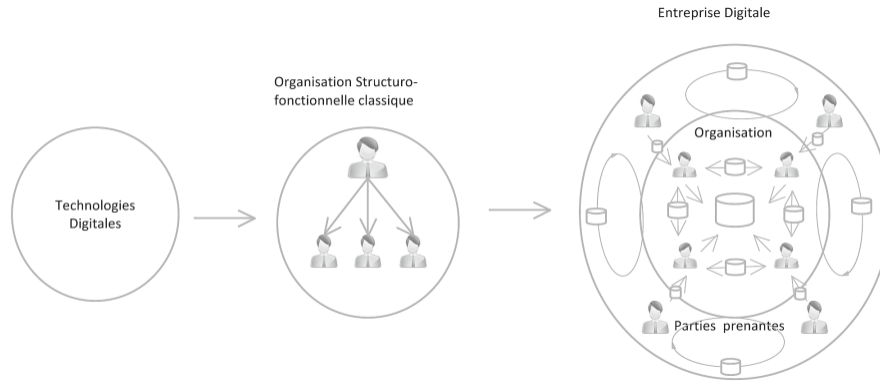


FIGURE 2.3 – Entreprise digitale

Animée par la massification des technologies digitales , la transformation digitale se positionne comme un processus incontournable pour survivre et créer la valeur tant pour les organisations que pour les personnes à l'ère de la quatrième révolution industrielle et des industries du futur.

2.6 Conclusion

Ce chapitre présentait un ensemble de connaissances de bases nécessaires pour la compréhension de ce travail. Il a mis en exergue les notions d'ingénierie de domaine pour le développement des systèmes , de spécifications algébriques pour la définition des modèles formels des systèmes , de système de transition pour les transitions d'un système à un autre . Ce chapitre présente également un bilan sur l'évolution de la société en terme de révolution industrielle et les différentes mutations. Pour finir , ce chapitre met exergue la notion de transformation digitale et ses implications. Ainsi , au vu de ces différentes mutations et exigences relevées , on est emmené à se questionner sur comment fonctionneront les organisations de demain avec le digital ?

CHAPITRE 3

DÉFINITION ET ANALYSE D'UN MODÈLE ALGÈBRIQUE D'UNE ORGANISATION 4.0

Ce chapitre présente un modèle projeté d'une organisation 4.0 . Puis une analyse dudit modèle pour ressortir l'impact, les enjeux et les perspectives de la transformation digitale dans une organisation.

3.1 Modèle algébrique d'une organisation

L'entreprise dans sa modélisation traditionnelle et d'un point de vue conceptuel est constituée d'un ensemble de processus métiers qui l'organisent en appliquant un ensemble de règles métiers qui régissent de cette dernière et des personnes comme processus supports.

Définition 10 (Organisation 4.0). *Une organisation 4.0 ou société 4.0 est une entité, qu'il s'agisse d'une entreprise, d'une institution, d'une association ou d'une autre forme d'organisation, qui s'adapte aux exigences de la 4ème révolution industrielle[8].*

3.1.1 Description d'une organisation

Une organisation est un multiensemble d'activités qui l'organisent en appliquant un ensemble de règles qui régissent de ladite organisation. Aux activités on associe un ensemble d'employés et un ensemble de postes de travail pour assurer leurs exécutions.

Ainsi, une organisation est une famille d'éléments, de composants et de règles ou propriétés. Alors, une organisation est un domaine.

La définition d'un modèle d'une organisation peut ainsi se résumer à une ingénierie de domaine. Il est donc question de définir un modèle dudit domaine.

Comme le suggère le professeur Dines Bjorner il est question d'identifier, de modéliser, de construire, de cataloguer et de diffuser les artefacts qui représentent les points communs et les différences au sein du domaine(organisation pour le cas précis).

L'étude des domaines comme le suggère le professeur Dines Bjorner se fait en les dotant de modèles mathématiques. Notamment en utilisant la logique mathématique, la théorie des ensembles et l'algèbre.

3.1.2 Définition d'un modèle algébrique

Il est question dans cette recherche de définir un modèle algébrique d'une organisation 4.0 : ressortir une signature et un ensemble de règles ou contraintes ou axiomes liés à une organisation.

Cependant, la définition d'un modèle algébrique d'une organisation peut s'avérer être un problème complexe. En effet, une organisation englobe un grand nombre de concepts et d'entités. Cette recherche fait pour se faire appel à la modularité, notamment la décomposition dans l'optique de diviser le problème en sous-problème et construire le modèle global à partir des modèles élémentaires.

Chaque modèle élémentaire constituera un module OBJ décrivant une spécification algébrique y correspondant.

Identifications des concepts et entités clés

L'organisation étant un multiensemble, cette recherche s'axera à l'identification de quelques entités et concepts clés d'une organisation.

Les entités clés et pertinentes de l'organisation qui sont mis en exergue dans cette recherche sont : Les activités qui sont exécutées au sein de l'organisation, les employés qui sont des supports aux activités et les postes de travail qui représentent les lieux d'exécution des activités.

Ainsi, la définition d'un modèle algébrique d'une organisation implique la définition des modèles génériques de références : un modèle générique décrivant une activité dans une organisation, un modèle générique décrivant un employé et un modèle générique décrivant un poste de travail. Le modèle d'une organisation est pour se faire issu de la composition de ces différents modèles génériques.

3.1.3 Modèle d'une activité

Dans une organisation, on peut noter trois grands types d'activités :

- **Les activités cognitives** : il s'agit des tâches de très haut niveau pour lesquelles il n'existe pas encore d'algorithmes pouvant permettre leur exécution automatique.
- **Les activités manuelles-non-routinières** : il s'agit des tâches de très bas de niveau pour lesquelles il n'existe pas encore d'algorithmes pouvant permettre leur exécution automatique.
- **Les activités routinières** : il s'agit des tâches pour lesquelles il existe des algorithmes pouvant permettre leur exécution automatique.

Cette recherche définit un modèle d'activité par $\text{ActiviteModel} = (S, OP, E)$, où S désigne un ensemble d'attributs associé à une activité dans une organisation. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi, le modèle d'activité définit dans cette recherche est caractérisé par :

$S = \{\text{Act}, \text{Comp}, \text{RM}, \text{QoSA}, \text{Type}\}.$

où :

- **Act** dénote une activité ;
- **Comp** dénote une compétence requise ;
- **RM** dénote une ressource ;
- **QoS** dénote une qualités de service attendue suite au traitement d'une activité ;
- **Type** dénote un type dans $\text{type} = \{\text{"routinières"}, \text{"cognitives"}, \text{"manuelles-non-routinières"}\}$;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si Act est une activité donnée , l'opération allouerType est un morphisme qui prend en entrée un objet Act et affecte l'objet Type denotant son type.
- Si Act est une activité donnée et son type , l'opération allouerCompetences est un morphisme qui prend en entrée la composition de l'objet Act et l'objet type , et affecte l'objet Comp denotant la compétence requise pour son exécution.
- Si Act est une activité donnée , l'opération allouerQoS est un morphisme qui prend en entrée un objet Act et affecte l'objet QoS denotant la qualité de service attendue suite à son traitement.
- Si Act est une activité donnée , l'opération allouerResources est un morphisme qui prend en entrée un objet Act et affecte l'objet RM denotant les ressources nécessaire pour son traitement.

L'ensemble E des propriétés est caractérisé par :

- Pour toute activité , il existe une qualité de service attendue suite à son traitement.
- Pour toute activité , il existe un ensemble de ressources nécessaires pour son traitement.
- Pour toute activité , il existe une compétence nécessaire pour son traitement.
- Pour toute activité , il existe un type qui lui est associé.

Formellement, le modèle d'activité ainsi décrit se résume par la spécification algébrique suivante :

```

mod ActiviteModel {

  Sorts : Comp, QoS, RM, Type, ActRoutinieres, ActCognitives ,
    ActManuelles-non-routinieres .
  Subsorts : ActRoutinieres, ActCognitives, ActManuelles-non-routinieres < Type .

  ops {

    Op : allouerType : Act → Type.
    Op : allouerCompetences : Act * Type → comp.
    Op : allouerQoSA : Act → QoS.
    Op : allouerResources : Act → RM.
  }
  AXIOMS {
    Vars : act : Act, qos : QoS, ressource : RM, type : Type, comp : Comp

    eq  ∀act : Act, ∃qos : QoS; allouerQoSA(act) = qos.
    eq  ∀act : Act, ∃ressource : RM; allouerResources(act) = ressource .
    eq  ∀act : Act, type : Type, ∃comp : Comp; allouerCompetences(act, type) = comp.
    eq  ∀act : Act, ∃type : Type; allouerType(act) = type.
  }
}
End md

```

3.1.4 Modèle d'employé

Cette recherche définit un modèle d'employé par $\text{EmployeModel} = (S, OP, E)$, où S désigne un ensemble d'attributs associé à l'employé dans une organisation. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi, le modèle d'employé définit dans cette recherche est caractérisé par :

$S = \{\text{Empl}, \text{JB}, \text{Skill}\}$.

où :

- **Empl** dénote un employé ;
- **JB** dénote un métier ;
- **Skill** dénote une compétence ;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si Empl est un employé donné, l'opération allouerMétier est un morphisme qui prend en entrée un objet Empl et affecte l'objet JB denotant le métier associé à cet employé.

- Si Empl est employé donnée , l'opération allouerCompétenceEmployé est un morphisme qui prend en entrée un objet Empl et affecte l'objet Skill denotant sa compétence.
- Si Empl est employé donnée , l'opération allouerActivité est un morphisme qui prend en entrée un objet Empl et alloue l'objet Act denotant l'activité.

L'ensemble E des propriétés est caractérisé par :

- Pour tout employé, il existe un métier qu'il exerce.
- Pour tout employé, il existe un ensemble de compétences qu'il possède.
- Pour tout employé, il existe une activité dans l'organisation qu'il exécute.

La spécification algébrique suivante résume formellement le modèle d'employé :

```

mod EmployeModel {

using (ActiviteModel)

  Sorts : Empl, JB, Skill.

  ops {

    Op : allouerMetier : Empl  $\rightarrow$  JB.
    Op : allouerCompétenceEmploye : Empl  $\rightarrow$  Skill.
    Op : allouerActivite : Empl  $\rightarrow$  Act.
  }
  AXIOMS {
    Vars : empl : Empl, job : JB, skill : Skill, act : Act, comp : Comp.

    eq  $\forall empl : Empl, \exists job : JB; allouerMetier(empl) = job.$ 
    eq  $\forall empl : Empl, \exists skill : Skill; allouerCompétenceEmploye(empl) = skill.$ 
    eq  $\forall empl : Empl, \exists act : Act; affecterActivite(empl) = act.$ 
  }
}
endm

```

3.1.5 Modèle de poste de travail

Cette recherche définit un modèle de poste de travail par PosteDeTravailModel = (S, OP, E), où S désigne un ensemble d'attributs associé au poste de travail dans une organisation. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , le modèle de poste de travail défini dans cette recherche est caractérisé par :

$$S = \{\text{Post-T}, \text{CR}, \text{QoS}\}.$$

où :

- **Post-T** dénote un poste de travail ;
- **Ressource** dénote les ressources requises à un poste de travail ;
- **QoS** dénote la qualité de service attendue ;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si Post-T est un poste de travail donnée , l'opération allouerRessourcePost est un morphisme qui prend en entrée un objet Post-T et affecte l'objet RessourcesRequise denotant les ressources requises à ce poste.
- Si Post-T est un poste de travail donnée , l'opération affecterEmploye-Post est un morphisme qui prend en entrée un objet Post-T et affecte l'objet Empl denotant l'employé affecté à ce poste.
- Si Post-T est un poste de travail donnée , l'opération allouerActivité -Post est un morphisme qui prend en entrée un objet Post-T et alloue l'objet Act denotant l'activité allouée à ce poste.
- Si les objets Act et Empl dénotent respectivement une activité et un employé , l'opération créer-Post est un morphisme qui prend en entrée la composition de Act et Empl , et crée l'objet Post-T denotant le poste de travail dédié à l'exécution de l'activité Act par l'employé Empl.

L'ensemble E des propriétés est caractérisé par :

- Pour tout poste de travail, il existe un ensemble de ressources qui lui sont allouées.
- Pour tout poste de travail, il existe un employé qui y est affecté.
- Pour tout poste de travail, il existe une activité qui y est exécutée.
- Tout poste de travail est la composition d'une activité et d'un employé chargé de son exécution.

La spécification algébrique suivante résume formellement le modèle de poste de travail :

```

mod PosteDeTravailModel {
using : (EmployeModel)

  Sorts : Post-T, Ressource.

  ops {

    Op : allouerRessourcePost : Post - T → Ressource.
    Op : affecterEmployePost : Post - T → Empl.
    Op : allouerActivitePost : Post - T → Act.
    Op : creerPost : Act * Empl → PostT.
  }
AXIOMS {
  Vars : post : Post - T, ressource : Ressource, empl : Empl, act : Act.

  eq  $\forall post : Post - T, \exists ressource : Ressource; allouerRessourcePost(post) = ressourcesRequise.$ 
  eq  $\forall post : Post - T, \exists empl : Empl; affecterEmployePost(post) = empl.$ 
  eq  $\forall post : Post - T, \exists act : Act; affecterActivitePost(post) = act.$ 
  eq  $\forall post : Post - T, \exists act : Act, empl : Empl; creerPost(act, empl) = post.$ 
}
}
endm

```

3.1.6 Modèle d'une organisation 3.0

Cette recherche définit un modèle d'organisation 3.0 par $OrganisationModel3.0 = (S, OP, E)$, où S désigne un ensemble d'attributs associé à une organisation 3.0. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , le modèle d'une organisation 3.0 définit dans cette recherche est caractérisé par :

$S = \{Process3.0\}.$

où :

— **Process3.0** dénote un processus métier adapté à une organisation 3.0;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

— Si les objets Act , Empl et Post-T dénotent respectivement une activité , un employé et un poste de travail , l'opération create-process3.0 est un morphisme qui prend en entrée la composition de Act , Empl et Post-T , et crée l'objet Process3.0 denotant le processus métier associé.

L'ensemble E des propriétés est caractérisé par :

- Pour tout type d'activité, il existe un employé alloué pour son traitement.
- Tout processus de l'organisation 3.0 est une composition d'activités, d'employés et postes de travail.
- Toute activité est exécutée par un employé ayant des compétences compatibles à la compétence requise pour son exécution.

La spécification algébrique suivante résume formellement le modèle d'organisation 3.0 :

```

mod OrganisationModel3.0 {

  using : (PosteDeTravailModel)

  Sort Process3.0.

  ops {

    Op:createProcess3.0 : Empl * Act * Post - T → Process3.0.
  }
  AXIOMS {
    Vars:process:Process, post:Post-T, empl:Empl, act:Act, skill:Skill, comp:Comp.

    eq ∀Type, ∃empl:Empl; allouerActivité(empl) = act.
    eq ∀process3.0:Process3.0, ∃act:Act, empl:Empl, post:Post - T
    ; createProcess3.0((act, empl, post) = process3.0.
    eq ∀act:Act, empl:Empl ; allouerActivité(empl) = act ⇒ ∃comp:Comp, skill:Skill;
    (allouerCompétences(act) = comp ∧ allouerCompétenceEmploye(empl) = skill ∧ (comp ⊆ skill)).
  }
}
endm

```

3.1.7 Système de transition

Dans cette partie, cette recherche définit un système de transition décrivant le passage du modèle d'organisation 3.0 défini au modèle d'organisation 4.0 projeté.

Une organisation 4.0 est la résultante de plusieurs mutations au sein de l'organisation 3.0.

Théorème : *Pour toute activité routinière d'une organisation, il existe un algorithme qui assure son exécution automatique de manière cohérente et sans intervention humaine directe.*

Preuve : *Supposons qu'il existe une activité routinière dans une organisation pour laquelle il n'existe aucun algorithme capable d'assurer son exécution automatique. Si une activité est routinière, elle est effectuée de manière régulière et prévisible et selon une série d'étapes prédéfinies. En raison de sa nature répétitive et structurée, il est possible de modéliser et de formaliser cette activité à un algorithme.*

L'une des forces de l'algorithme est qu'il peut être automatisé c'est-à-dire mis en œuvre par un

système informatique ou une machine. Ce qui est contraire à l'hypothèse de départ. D'où la validité du théorème.

Le modèle d'organisation 4.0 peut ainsi être décrit comme une extension du modèle d'organisation classique en extrirant les activités routinières de l'ensemble des activités.

Cette recherche utilise la théorie des catégories pour définir un foncteur de transition décrivant le passage d'une organisation 3.0 à une organisation 4.0.

Ainsi, deux catégories spécifiques sont définies :

La Catégories spécifique CatOrg3.0 :

Cette catégories est composée de :

Objets : activité routinière (TR) , activité cognitive (TC) , activité manuelle-non-routinière (TMNR) et Employé

Morphismes :

Estaffectedé: $TR \rightarrow \text{Employé}$

Estaffectedé: $TC \rightarrow \text{Employé}$

Estaffectedé: $TMNR \rightarrow \text{Employé}$

La catégories spécifique CatOrg4.0 :

Cette catégorie est composée de :

Objets : TR , Machine

Morphismes :

Estaffectedé: $\text{Machine} \rightarrow TR$.

Foncteur de transition (F ou TransitionFunctor): $\text{CatOrg3.0} \rightarrow \text{CatOrg4.0}$.

Transformations des objets :

Esttransformé: $F(TR) = \text{Machine}$.

Transformation des Morphismes :

$F: (TR \rightarrow \text{Employé}) \rightarrow (\text{Machine} \rightarrow TR)$

L'algorithme suivant décrit plus explicitement les transformations sus-présentées :

```

def transition_3_0_to_4_0(Org_3_0):

\* 1. Créer une copie de l'organisation 3.0 *\

    Org_4_0 = Org_3_0.copy()

\* 2. Identifier les activités routinières dans l'organisation 3.0 *\

    activities_routinieres= Org_4_0.get_activities_routinieres()

\* 3. Affecter les activités routinières aux machines dans l'organisation 4.0 *\

for activity in activities_routinieres:

    machine= create_machine_from_activity(activity)\*Créer une machine pour chaque activité*\

    Org_4_0.assign_machine(activity, machine)\* Affecter la machine à l'activité.*\

    Org_4_0.remove_employee(activity)\* Retirer l'employé responsable de l'activité.*\

\* 4. Retourner l'organisation 4.0 *\

    return Org_4_0

```

Le système de transition ci-dessous axé sur la gestion des activités résume la mutations d'une organisation 3.0 à une organisation 4.0 :

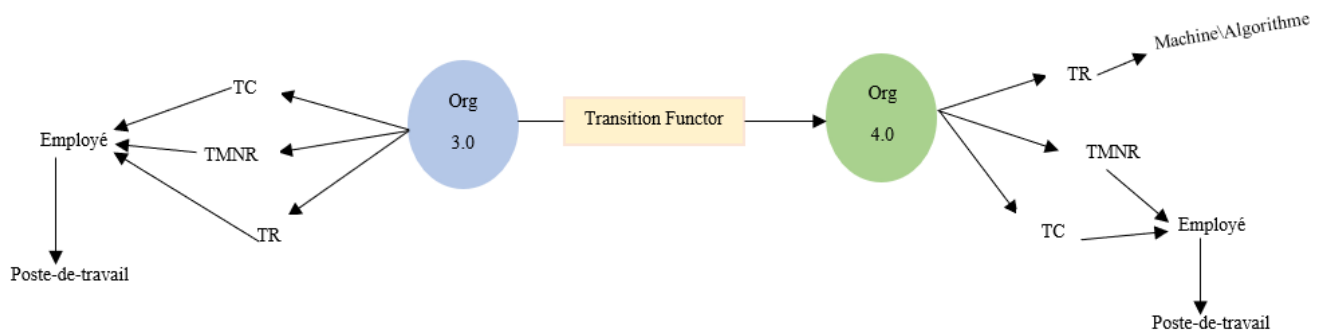


FIGURE 3.1 – Système de transition

3.1.8 Modèle d'une organisation 4.0

Cette recherche définit un modèle d'organisation 4.0 par $\text{OrganisationModel4.0} = (S, OP, E)$, où S désigne un ensemble d'attributs associé à une organisation 4.0. F désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , le modèle d'une organisation 4.0 définit dans cette recherche est caractérisé par :

$S = \{Machine\}$.

où :

- **Machine** dénote un algorithme ou programme qui remplace/exécutent les activités de type routinière ;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si les objets Act et Type dénotent respectivement une activité et un type , l'opération numérisation-Act est un morphisme qui prend en entrée la composition de Act et Type , et crée l'objet Machine denotant la machine ou programme qui remplace/exécutent les activités de type routinière.

L'ensemble E des propriétés est caractérisé par :

- Pour toute activité de type routinière, il existe un algorithme qui permet sa numérisation.
- Toute activité cognitive ou manuelle non routinières est allouée à un employé qui assure son exécution.

La spécification algébrique suivante résume formellement le modèle d'organisation 4.0 :

```
mod OrganisationModel4.0 {  
    extend (OrganisationModel3.0)  
  
    Sort Machine.  
  
    ops {  
        Op : numerisationAct : Act * ActRoutiniere → Machine.  
    }  
    AXIOMS {  
        Vars : empl : Empl , act : Act , machine : Machine , type : Type .  
  
        eq ∀act : Act, ActRoutiniere , ∃machine : Machine ;  
        numerisationAct (act , actRoutiniere) = machine .  
        eq ∀act : Act , ∀(ActCognitives ∨ ActManuelles – non – routinieres) , ∃empl : Empl ;  
        allouerActivite (act , type) = empl .  
    }  
}  
endm
```

3.1.9 Impact de la transformation digitale

Le modèle d'organisation 4.0 projetée résultant met en évidence la mutation des activités routinières. En effet ces dernières sont exécutées grâce aux algorithmes existants. Ainsi , les employés affectés aux postes de travail autrefois alloués pour leur exécution manuelle perdent leurs emplois. De plus les systèmes informatiques nécessitant une conception, une implémentation et une maintenance. Ceci induit la naissance de nouveaux emplois en lien avec le digital par ricochet la demande de nouvelles compétences.

Ainsi, la transformation digitale se présente donc pour les organisations comme un grand enjeu présentant lui même des enjeux.

3.1.10 Enjeux de la transformation digitale

Dans un monde marqué par une forte dynamique de transformation écosystémique, les défis techniques, sociaux et économiques doivent bien être pris en compte.

Enjeu sur les processus inter-organisationnels

Soient A et B deux organisations , Soit P un processus inter-organisationnel ($A \otimes B$).

Alors, $P = P_1 \otimes P_2$; où :

$P_1 = Act_set_{(A)}$: désigne l'ensemble des activités de P dont l'exécution dépend de l'organisation A .

$P_2 = Act_set_{(B)}$: désigne l'ensemble des activités de P dont l'exécution dépend de l'organisation B .

En supposant que l'organisation A ait subi une transformation digitale ayant induit l'automatisation du sous-processus P_1 . En supposant également que l'organisation B n'ait subi aucune transformation digitale. Ainsi l'exécution du sous-processus P_2 est manuelle.

Pour P_1 , les activités sont transformées en algorithmes. Ceux-ci permettent leur exécution automatique et renvoient un Output qui est une donnée numérique.

Tandis que pour P_2 , Les activités sont affectées aux employés pour leur exécution. Ainsi , le Output est d'une donnée physique.

Dans ce cas, cette recherche utilise le calcul des processus communicants (CCS) pour modéliser cette situation où le système se bloque lorsque P_2 ne peut traiter que des données physiques.

On a :

$P_1 = \text{send}(\text{Data}).0$

$P_2 = \text{receive}(\text{Data}).\text{Block}$

$\text{System} = P_1 \parallel \{P_2\}$

Le sous-processus P_1 envoie les données numériques en utilisant l'opération " $\text{send}(\text{Data})$ " suivie d'un choix non déterministe représenté par "0" (ce qui signifie que le sous-processus P_1 se termine après l'envoi).

Le sous-processus P_2 attend la réception des données en utilisant l'opération " $\text{receive}(\text{Data})$ ", mais il se bloque intentionnellement à l'état "Block" car il ne peut traiter que les données physiques.

En combinant les sous-processus P_1 et P_2 avec l'opérateur de composition parallèle " $\parallel$ ", le système global "System" est formé, où les sous-processus P_1 et P_2 s'exécutent en parallèle.

Dans ce scénario, lorsque P_1 envoie les données numériques à P_2 , P_2 reçoit les données mais se bloque car les données ne correspondent pas à ce qu'il peut traiter. C'est un exemple de blocage intentionnel, où le système se trouve dans un état où aucune autre transition n'est possible.

L'exécution de P_1 renvoie une donnée numérique comme Output qui n'est pas compatible au Input de P_2 qui doit être une donnée Physique. Alors, ce scénario bloque l'exécution du processus P.

L'enjeu de la transformation digitale est d'uniformiser les écosystèmes en des écosystèmes digitaux pour assurer l'interopérabilité des systèmes.

Enjeux sociaux

L'analyse du modèle de l'organisation 4.0 projetée met en relief un ensemble d'activités exécutées par des programmes informatiques (machines) et d'autres ensembles d'activités exécutés par des employés.

Compte tenu de l'impact relevé précédent, plusieurs enjeux se montrent sur le plan social.

On peut relever entre autre :

- **La redéfinition du rôle de l'Homme dans l'organisation** : l'Homme doit développer des compétences et aptitudes digitales.
- **Adaptation au marché de l'emploi** : le rôle de l'homme dans le triangle homme/machine/produit est appelé à se modifier profondément. Homme et machines sont ici profondément imbriqués.
- **De nouveaux modes de travail** : les technologies évoluent rapidement, l'enjeu est donc d'adopter l'agilité comme mode de travail.

À ces enjeux sur le plan social , on peut associer des enjeux sur le plan économique.

Enjeux économiques

La transformation digitale révolutionne l'ensemble de l'organisation. Cette révolution remet en question l'organisation du travail, la culture de l'organisation et les métiers. les organisations définissent généralement un modèle économique pour définir ce qu'elles vendent, auprès de quels clients, dans quel but, de quelle manière et pour quel bénéfice. Compte tenu de l'impact de la transformation digitale notamment l'automatisation des processus, avec une contribution importante à la productivité, l'enjeux économique est donc la conception d'un modèle économique adapté à l'organisation 4.0.

La gestion de tous ces enjeux en se basant sur les impacts met en évidence des perspectives de la transformation digitale dans une organisation.

3.1.11 Perspectives de la transformation digitale dans une organisation

La transformation digitale pourrait ainsi offrir plusieurs perspectives au sein de l'organisation :

- **Amélioration de l'efficacité** : l'automatisation des tâches automatisables peut permettre de libérer du temps pour les activités à plus forte valeur ajoutée. Elle peut également améliorer l'efficacité opérationnelle, la rapidité et la qualité des processus.
- **Meilleure expérience client** : la transformation digitale peut aider à améliorer l'expérience client ou utilisateur en offrant des services en ligne et des outils de libre-service qui permettent aux clients d'accéder aux informations et de traiter leurs demandes plus rapidement et plus facilement.
- **Innovation** : la transformation digitale peut stimuler l'innovation en permettant aux organisations de créer de nouveaux produits et services, de repenser les modèles d'affaires et de trouver de nouveaux moyens de résoudre les problèmes.
- **Meilleure collaboration** : la transformation digitale peut améliorer la collaboration et la communication entre les employés et les différents services de l'organisation. Elle peut également faciliter le travail à distance et le partage des informations.
- **Meilleure prise de décision** : la transformation digitale peut permettre de collecter et d'analyser des données en temps réel, ce qui peut aider à prendre des décisions plus éclairées et plus rapidement.

Cependant, il est important de noter que la transformation digitale peut également présenter des défis tels que le coût élevé de mise en place, la résistance au changement et la sécurité des données.

3.2 Conclusion

Le but de ce chapitre était de présenter un modèle algébrique d'une organisation 4.0 et son analyse pour ressortir l'impact , les enjeux et perspectives de la transformation digitale dans

une organisation. Le modèle définit a permis de montrer à un niveau d'abstraction élevé comment pourra fonctionner une organisation 4.0.

La suite de ce travail sera axée sur l'application du modèle projeté au système d'enseignement supérieur. L'optique étant la proposition d'une nouvelle approche pédagogique dans les universités camerounaises.

CHAPITRE 4

APPLICATION AU SYSTÈME D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR AU CAMEROUN

Le but de ce chapitre est d'appliquer le modèle d'organisation défini dans le système d'enseignement supérieur au Cameroun. Ainsi, ce chapitre propose une nouvelle approche pédagogique basée sur le digital. Pour se faire ce chapitre commencera par présenter l'évolution des systèmes éducatif en fonction des différentes révolutions industrielles. Puis une description du système d'enseignement supérieur camerounais actuel. Ensuite un modèle algébrique d'université 3.0 au Cameroun sera défini. Le modèle défini sera analysé pour ressortir l'impact, les enjeux et perspectives dans l'enseignement supérieur au Cameroun.

4.1 Evolution des systèmes universitaires

L'enseignement supérieur est considéré comme l'un des services les plus importants dans tous les pays. Avec l'évolution des sociétés impulsée par les révolutions industrielles, toutes les organisations à l'instar des universités subissent de grandes mutations dans leurs processus et procédures. L'état actuel de l'industrie soulève inévitablement des inquiétudes en cette période de progrès technologique exponentiel, telles que l'adéquation du système éducatif actuel à la lumière des exigences de l'Industrie 5.0, la conception du nouveau paradigme éducatif, les composants de l'Éducation 5.0., etc[2].

4.1.1 Transition d'une éducation 1.0 à 5.0

Les systèmes éducatifs ont subi une grande évolution au fil du temps. On est passé d'une éducation 1.0 à une éducation 5.0.

Education 1.0

L'éducation 1.0 fait référence à la première révolution industrielle dans l'éducation. Il s'agit d'un modèle d'enseignement traditionnel basé sur la lecture et la mémorisation, où

le professeur est au centre de l'enseignement et les étudiants sont des récepteurs passifs de connaissances[11]. Les cours se basent sur des méthodes d'enseignement magistrales et le contenu est principalement transmis oralement. Les ressources d'apprentissage se limitent aux manuels et aux livres. La technologie n'est quasiment utilisée et les salles de classe sont souvent organisées de manière traditionnelle.

Éducation 2.0

l'éducation 2.0 fait référence à la deuxième révolution industrielle dans l'éducation. elle est marquée par : L'intégration de la technologie pour améliorer l'apprentissage et l'enseignement , l'utilisation d'outils numériques, tels que des logiciels éducatifs, des présentations multimédias et des ressources en ligne[11].

L'accent est mis sur l'accès facilité à l'information et à une gamme plus large de ressources pour les étudiants.

Elle marque le commencement de l'interaction et de la collaboration entre les élèves grâce à des solutions technologiques, mais l'enseignant reste au centre du processus d'apprentissage.

Éducation 3.0

l'éducation 3.0 il s'agit de la troisième révolution industrielle dans l'éducation. elle est marquée par : Un apprentissage centré sur l'apprenant avec une variété de méthodes pédagogiques [11]. Un encouragement de l'apprentissage actif et coopératif, avec une participation plus active des étudiants. Une utilisation de méthodes d'enseignement différenciées pour s'adapter aux besoins individuels des étudiants. L'introduction de projets et d'activités pratiques pour promouvoir la pensée critique, la créativité et la collaboration[11] avec des curricula de formation adaptés , une adéquation formation-emplois et les spécificités locales au centre de la pédagogie ; illustré dans la figure 4.1.

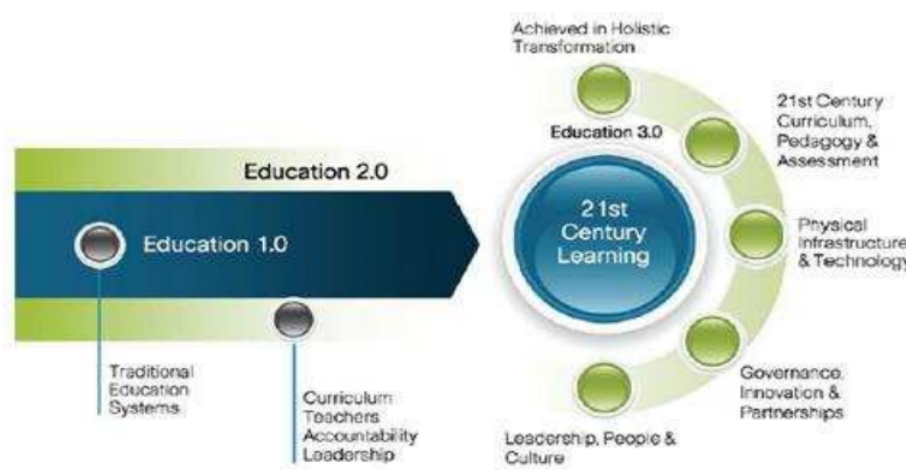


FIGURE 4.1 – Education 3.0

Éducation 4.0

L'éducation 4.0, également connue sous le nom de quatrième révolution industrielle dans l'éducation, fait référence à l'intégration de la technologie et des méthodes pédagogiques

innovantes dans le processus d'apprentissage [15]. Il reconnaît les progrès rapides de la technologie et la nécessité de préparer les étudiants à l'avenir en les dotant des compétences et des connaissances nécessaires. Elle est caractérisée par [15] : Apprentissage personnalisé : la technologie permet des expériences d'apprentissage sur mesure en fonction des besoins individuels des étudiants. Des logiciels et des algorithmes intelligents peuvent évaluer les forces et les faiblesses des étudiants, en fournissant des recommandations personnalisées et un contenu adaptatif.

Utilisation de technologies avancées, telles que l'apprentissage en ligne, l'intelligence artificielle et la réalité virtuelle.

Développement des compétences du 21e siècle, y compris la pensée critique, la communication, la collaboration et la résolution de problèmes.

Apprentissage flexible et à distance, permettant aux étudiants d'accéder aux ressources et aux cours en ligne de n'importe où.

Éducation 5.0

L'éducation 5.0 fait référence à une éducation basée sur l'éthique et l'humanisme.. L'éducation 5.0 va au-delà de la création et de l'utilisation de la technologie et pénètre dans les sphères de l'humanisme et de l'éthique [2]. Introduction de l'apprentissage expérientiel et de l'apprentissage basé sur les compétences. La mise en relation de l'apprentissage en classe avec le monde réel grâce à des stages, des projets concrets et des expériences pratiques. Il est question d'un apprentissage intégré dans le contexte de la résolution de problèmes du monde réel et des défis sociétaux[20]. Un Développement des compétences transdisciplinaires et des compétences émotionnelles et sociales , et une adaptation aux changements dans la société.

Les avancées dans les systèmes éducatifs induits également de forts changements au niveau du lieu où l'apprentissage se déroule. On n'est quitté des amphithéâtres dans l'apprentissage traditionnel pour des plate-formes de e-learning ou encore des MOOCs. Avec les avancées technologiques les amphithéâtres comme lieux d'apprentissage tendent de plus en plus à la disparition.

Les MOOCs ont évolué du téléchargement du MOOC 1.0 à une interaction bidirectionnelle dans le MOOC 2.0 , à un dialogue multilatéral dans le MOOC 3.0 avant de finalement s'ancrer au niveau 4 en tant que collectif créativité dans le MOOC 4.0 car la conversation est vécue comme une co-crédation[2].

Avec la cinquième révolution industrielle dans l'éducation de plus en plus en perspective , il est de plus en plus évoqué l'avènement des Mooc 5.0 , intégrant les technologies telles que l'IOT , L'IA ou machine learning (ML) , le cloud computing, le Big data , la gamification , la blockchain , les jumeaux numériques et le Metaverse. Le MOOC 3.0 est basé sur l'incorporation du MOOC dans les programmes académiques traditionnels.

La figure 4.2 illustre la progression de l'éducation [2].

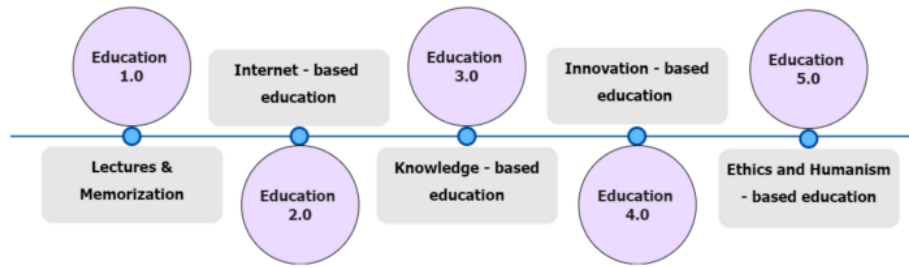


FIGURE 4.2 – Progression de l'éducation

4.2 Enseignement supérieur au Cameroun

Certains pays en développement comme le Cameroun utilisent encore des systèmes hérités des années 60. Il est noté 160 000 étudiants se présentant chaque année dans l'enseignement supérieur. Plus de 95000 dans les universités publiques. Les campus des universités publiques et privées sont de plus en plus encombrés.

Il s'agit d'un système d'enseignement dit classique, exigeant la présence de l'enseignant et des apprenants au sein de l'établissement selon un emploi de temps préétabli.

Il est question d'un système qui met l'accent sur une transmission de connaissances et un transfert de compétences à travers des cours magistraux, des exposés, des travaux pratiques.

C'est un système éducatif qui s'intègre dans la logique des deux premières révolutions industrielles dans l'éducation , il tend d'ailleurs plus au mode d'apprentissage traditionnel (tableau 4.1).

Cependant, Les amphithéâtres existants ne sont pas suffisants pour soutenir une prestation efficace des cours par le personnel académique. Le gouvernement avait porté le nombre d'universités d'État à 11 avec un effectif total de 6 461 enseignants. Le ratio moyen d'élèves par enseignant est de 51. Sur la base des places disponibles sur le campus, le ratio entre étudiants et places est de 2,88 étudiants par place.

Compte tenu de l'écosystème mondial marqué par le digital induisant un monde caractérisé par l'instantanéité, de l'innovation, de la Co-logique etc., le système actuel utilise un paradigme qui tend vers l'obsolescence.

Les universités du monde sont constamment en connexion entre elles avec des échanges inter-universités et une problématique sur l'adéquation formation-emploi de plus en plus au coeur des préoccupations.

L'enjeu est donc d'éviter de s'isoler en laissant les étudiants dans le désarroi total, sans emplois et avec des compétences inadaptées aux réalités du monde induit par le digital.

Dimensions	Apprentissage universitaire au Cameroun
Centré	Enseignant
Rôle de l'apprenant	Passant
Personnalisation	Enseignement de masse avec un contenu qui doit satisfaire les besoins de plusieurs apprenants
Processus d'apprentissage	Statique, fondé sur un contenu prédéfini
Espace	Espace circonscrit : amphithéâtres
Technologies utilisées	Tableau, écran mural, etc.

TABLE 4.1 – Mode d'enseignement traditionnel

Ce faisant, nombreux pays ont opté pour la transformation digitale dans les processus éducatifs pour résoudre les difficultés sus-présentées.. L'optique est de créer une adéquation entre les systèmes d'enseignement supérieur et la lumière de l'industrie 4.0 et 5.0 de plus en plus en perspective. À ce stade, il est essentiel d'explorer les méthodologies d'enseignement dans le contexte des progrès techniques de l'Industrie 4.0, car les années à venir mettront à l'épreuve notre capacité à repenser l'apprentissage pour les apprenants de la génération numérique d'aujourd'hui[2].

Cette refonte pourrait ainsi être possible si la capacité et l'état de préparation du pays est favorable à une gestion à l'aide des TIC.

4.3 E-readiness dans les pays en développement

Dans l'optique d'assurer une intégration réussie des TIC dans la gestion des services au sein d'une organisation d'un pays, il est important de mesurer le degré auquel le pays peut être prêt, désireux ou préparer à tirer profit des avantages découlant des TIC.

Il n'est pas judicieux de parler d'intégration des TIC dans la gestion des services dans les organisations des pays en développement sans évaluer les ressources humaines, matérielles et politiques de ces pays, dans l'optique de se saisir de ces TIC et en tirer un bénéfice [25].

Pour se conformer à notre cas d'étude, cette section se focalisera sur les réalités des pays en développement dont fait partie le Cameroun.

4.3.1 Connectivité internet

La connexion à internet est devenue monnaie courante dans le monde. Dans les pays en développement, les TIC sont de plus en plus intégrées dans des occupations quotidiennes. À travers les réseaux sociaux qui rassemblent un grand nombre de peuples cosmopolites dans le monde par le biais d'internet.

Comme souligne le rapport ODD, à l'échelle mondiale, environ 4,9 milliards de personnes ont utilisé internet en 2021, dont 2,6 milliards dans les pays en développement. Des solutions numériques seront nécessaires pour imprimer un nouvel élan au développement durable et aider les pays à poursuivre sur la voie de la réalisation des objectifs de développement durable (ODD) définis par les Nations Unies à l'horizon 2030 [1].95% du territoire camerounais est couvert par le réseau cellulaire. A partir de ce réseau, la plupart des camerounais disposent d'une connexion internet. Basé sur l'augmentation du nombre de réseaux de communication mobile, le prix de la connexion Internet devient de plus en plus abordable.

4.3.2 Les TIC dans l'administration publique

Pour analyser le niveau d'intégration des TIC dans une société, il est important de faire le bilan sur les services ayant un impact sur les secteurs clés. Il s'agit en occurrence de l'éducation, la santé, les organisations privées et publiques, et l'administration publique. Dans ces différents secteurs, l'intégration des TIC pour la gestion des activités s'accroît considérablement.

La communication en ligne, les échanges de documents et informations se font via des courriers électroniques.

La plupart des jeunes inscrits dans les universités ont accès à Internet. La connexion Internet au sein des campus universitaires est gratuite et l'État garantit et offre une bande passante Internet élevée.

4.3.3 Changement de paradigme dans l'enseignement supérieur camerounais

Le Cameroun a lancé sa marche vers une digitalisation de son système d'enseignement supérieur. Ceci est l'œuvre d'une volonté gouvernementale sous l'impulsion du président de la république camerounaise et porté notamment par le projet dénommé *Paul Biya national High education vision (PBhev)*.

La première phase dudit projet était basée sur la distribution de plus de cinq cent milles ordinateurs avait pour but d'engendrer un élan psychologique dans les consciences des étudiants et parents à se mettre au centre du projet, pour un nouveau paradigme dans l'enseignement supérieur.

Il s'agit de sortir la population de «l'analphabétisme». En effet, « Est analphabète en ce XXI^e siècle celui qui ici ne sait pas utiliser un ordinateur » [25].

La deuxième phase du projet étant basée sur la mise sur pied des centres universitaires du développement du numériques (CUDN) pour rendre effectif l'enseignement et l'apprentissage à distance.

Le Cameroun est doté à ce jour des centres numériques au sein de ses universités. Il sera donc désormais possible pour les étudiants de télécharger n'importe quel matériel pédagogique disponible pour le programme auquel ils sont inscrits. Avec l'avancée de la technologie, les étudiants peuvent conserver ces documents localement dans leurs ordinateurs portables ou dans le Cloud.

Compte tenu de cet important environnement TIC, il convient d'envisager comment en bénéficier pour passer d'un système universitaire traditionnel à système adapté au monde induit par le digital.

Ainsi, il est question pour l'université camerounaise de lancer sa course vers une université adaptée aux révolutions industrielles. Ceci passe par la définition d'un modèle d'université 3.0 servant de point de base des systèmes universitaires basés sur le digital puis des perspectives d'évolutions successives et rapides pour se conformer à l'évolution du monde qui projette de plus en plus dans des systèmes universitaires 5.0.

4.4 Système de transition

L'efficacité d'une université moderne est déterminée par son rôle dans la recherche scientifique de pointe, les technologies éducatives, les processus de formation et la commercialisation de son potentiel intellectuel [22].

Le système d'enseignement supérieur doit pour se faire poser ses jalons sur une intégration d'outils digitaux comme support à sa pédagogie. Une pédagogie qu'on qualifierait de *pédagogie 3.0*.

Le passage d'un système d'enseignement traditionnel à un système 3.0 peut s'appréhender comme un système de transition faisant muter les différents états du système actuel en d'autres états. Les action de transition étant la numérisation des services et la dématérialisation.

Ainsi les amphithéâtres subissent une numérisation conduisant à leur mutation dans des plate-formes de e-Learning. Les cours subissent également une numérisation conduisant à leur mutation en ressources pédagogiques en ligne, affectées à la plate-formes de e-Learning. Les diplômes subissent à leur tour une dématérialisation conduisant à leur mutation en diplômes numérisés.

Le tout impacte les processus d'enseignement , d'apprentissage et même de divrance de diplômes. Ces derniers quittent de l'apprentissage traditionnelle, des cours en présentiel et des méthodes pédagogiques traditionnelles à une adoption généralisée de l'apprentissage en ligne et de méthodes pédagogiques innovantes. Il s'agit d'un processus de transformation digitale permattant le passage d'une université classique à une université 3.0.

Le système de transition 4.3 suivant décrit la situation :

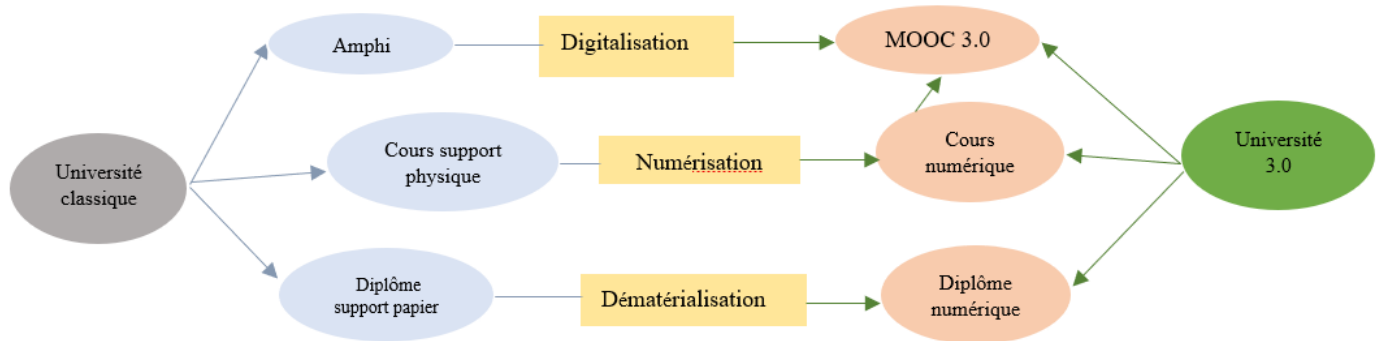


FIGURE 4.3 – Système de transition : pédagogie classique à pédagogie 3.0

4.5 Modèle algébrique d'université 3.0

Une université est un ensemble d'académies de formation. Une académie de formation est constituée d'un ensemble de facultés. Dans chaque faculté, on retrouve un ensemble de filières. Dans chaque filière on retrouve un ensemble de spécialités , chaque spécialité contient un ensemble d'unités d'enseignement dispensées dans un cycle. Chaque unité d'enseignement est repartie en cours etc.

À noter qu'un même enseignant peut être dans deux spécialités. Il faut également noter que la pédagogie est la même, que ce soit dans une faculté ou dans une académie.

L'université est donc un multiensemble d'entité, de relations et de propriétés. Ainsi, une université est un domaine. La proposition d'un modèle d'université 3.0 peut ainsi se résumer à une ingénierie du domaine sous-jacent. Il s'agit de définir le modèle de domaine.

La différence entre deux systèmes universitaires d'un point de vue processuel réside dans leurs approches pédagogiques. Il est question de définir de nouveaux processus liés à l'enseignement et l'apprentissage.

Le modèle d'organisation proposé dans ce travail sert ainsi de base d'ingénierie d'exigence à un niveau d'abstraction élevé pour la définition du modèle d'université 3.0 projetée. Il obéit pour se faire aux exigences telles que :

La numérisation des services au sein de l'université classique tel que illustré dans le système de transition. Le tout imposant la réorganisation des schéma organisationnels notamment les postes de travail et les personnes y affectées.

Qui parle d'un système universitaire 3.0, parle d'une université présentant une pédagogie orientée sur des plateformes digitales construites à cet effet telles que des Moocs.

Ainsi , un système pédagogique se construit autour d'un ensemble d'activités allant de la préparation du cours, en passant par la validation de son contenu, sa digitalisation jusqu'à la gestion des interactions autour dudit cours.

Pour se faire, le modèle d'université 3.0 projetée repose sur des modèles adéquats de préparation de cours, validation de son contenu, digitalisation de son contenu et gestion des interaction autour dudit cours.

La définition d'un modèle algébrique d'une université peut s'avérer être un problème complexe. Ainsi cette recherche fait appel à la modularité. Celle-ci consistera à ressortir d'une manière indépendante les modèles de génériques de références des différentes entités et concepts clés. Ce qui correspondra à des modules OBJ indépendants puis une composition pour ressortir le modèle global résultant.

4.5.1 Description du modèle

La construction d'une vision du futur nécessite la révision de la valeur et l'organisation du travail. Le modèle proposé dans ce travail se décrit ainsi que suit :

La gestion de la préparation d'un cours est effectuée par une équipe pédagogique multidisciplinaires. Ainsi , le cours est affecté à l'équipe pédagogique et seuls les enseignants de la discipline à laquelle appartient le cours à préparer s'occupent de la préparation.

La préparation consiste à partir des concepts principaux de bases pour ressortir un ensemble de concepts développés en corrélation avec le contexte social du pays (concepts mise en jour). Ces derniers sont par la suite définis en séquences finies d'articulations et présentés aux étudiants en guise d'illustration. La préparation se termine par l'affectation du contenu mise à jour au conférencier principal pour la présentation au reste des membres de l'équipe. Le contenu présenté doit être validé.

L'opération de validation se fait ainsi par le reste des membres l'équipe pédagogique. Ils procèdent par des observations. Ces observations permettent de corriger les éventuelles erreurs et ressortir le support de cours validé et prêt pour l'opération de digitalisation.

La digitalisation du cours se fait dans le centre universitaire du développement du numérique (CUDN) constitué de deux principales salles ; la salle des enseignants et la salle destinée aux cours à distance.

L'enseignant chargé de la digitalisation se rend pour se faire dans le centre universitaire du développement du numérique (CUDN) pour la digitalisation du support de cours.

L'opération de digitalisation se fait en étapes :

L'étape de préparation du téléchargement : elle consiste à se rendre avec le support de cours dans la salle du CUDN destinée aux enseignants pour les derniers réglages avant le téléchargement effectif.

L'étape de téléchargement du support de cours : elle se fait dans la salle du CUDN destinée aux cours à distance.

Par la suite, on a l'étape d'enregistrement du cours dans la plate-forme de e-learning.

Le cours est par la suite affiché dans l'espace collaboratif de la plate-forme de e-learning.

L'opération de digitalisation se solde par la création d'un forum de discussion pour assurer les interactions entre les étudiants et le personnel enseignant, les étudiants entre eux-mêmes et les enseignants entre eux-mêmes également.

L'inscription d'un étudiant à l'université lui donne accès aux cours sur la plate-forme de e-learning , aux groupes de discussion et lui attribue un identifiant unique lui permettant d'accéder à ses diplômes.

Il est important de tenir compte des particularités ou variations et des besoins spécifiques pouvant être liés à la préparation du cours , sa validation , sa digitalisation et les interactions autour dans des institutions universitaires :

Les Politiques institutionnelles en effet , Chaque institution universitaire peut avoir ses propres politiques et réglementations concernant la préparation des cours sa validation , sa digitalisation , les interactions autour. Ces politiques peuvent inclure des exigences spécifiques en matière de compétences, de crédits, de langues d'enseignement, etc. Pour adapter le modèle à ces variations, vous pouvez ajouter des attributs supplémentaires pour refléter ces politiques spécifiques et les opérations correspondantes pour les manipuler.

Procédures spécifiques en effet , Chaque institution universitaire peut avoir des procédures particulières pour la préparation des cours, telles que des protocoles de révision, des processus de validation, des normes de qualité, etc.

Spécificités locales : Chaque institution universitaire peut avoir des spécificités locales d'enseignement, des cultures académiques ou des besoins uniques. Par exemple, certaines institutions ont peut-être des programmes d'études spécialisés, des approches pédagogiques particulières ou des exigences linguistiques spécifiques.

4.5.2 Définition des modèles génériques de référence

La description de l'université 3.0 met en exergue un cinq processus majeurs :

La préparation du cours , la validation du cours , la digitalisation du cours , la gestion des interactions sur le cours et la gestion de la diplomation.

Ces processus constitueront des modèles génériques pour le domaine que constitue l'université 3.0 projetée.

À noter que chaque modèle de référence est caractérisé par un ensemble d'entités et concepts clés.

Ainsi ,le modèle d'université 3.0 resultant sera une composition modulaire des modules des spécifications décrivant les différents modèles de références génériques.

Modèle de préparation de cours

Cette recherche définit le modèle de préparation d'un cours par PreparationOfTheCourseModel = (S, OP, E), où S désigne un ensemble d'attributs associé à la préparation du cours dans une université. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , S= { Cours , EquipePedagogique, Enseignant , conferencierP , Specialite , Competence , ConceptP, ConceptsDev , credit , Connaissance ,Sequence , Illustration , Objectif , LangueCours}

Où :

- **Cours** dénote un cours ;
- **EquipePedagogique** dénote une équipe pédagogique ;
- **Enseignant** dénote un enseignant ;
- **conferencierP** dénote un conférencier principal ;
- **Specialite** dénote une spécialité ;

- **ConceptP** dénote les concepts principaux ;
- **Compétence** dénote les compétences nécessaires pour la compréhension d'un cours ;
- **credit** dénote un crédit ;
- **Connaissance** dénote les connaissances véhiculées par le cours ;
- **Sequence** dénote une séquence d'articulation ;
- **Illustration** dénote une illustration sur les concepts développés ;
- **Objectif** : dénote une liste d'objectifs du cours.
- **LangueCours** : dénote la langue d'enseignement du cours

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- **preparerCours** , Cette opération permet d'associer un cours à une équipe pédagogique dans le processus de préparation. Elle prend en entrée un cours et une équipe pédagogique, et retourne le cours préparé avec l'équipe pédagogique associée.
- **affecterEnseignant** , Cette opération permet d'affecter un enseignant à une spécialité spécifique. Elle prend en entrée une spécialité et un enseignant, et retourne l'enseignant affecté à cette spécialité.
- **ajouterConceptPrincipal** , Cette opération permet d'ajouter un concept principal à un cours. Elle prend en entrée un cours et un concept principal, et retourne le cours avec le concept principal ajouté.
- **definirCompetences** , Cette opération permet de définir les compétences nécessaires pour la compréhension d'un cours. Elle prend en entrée un cours et une compétence, et retourne le cours avec la compétence définie.
- **allouerCredit** , Cette opération permet d'allouer un crédit à un cours. Elle prend en entrée un cours et un crédit, et retourne le cours avec le crédit défini.
- **definirConnaissances** , Cette opération permet de définir les connaissances véhiculées par un cours. Elle prend en entrée un cours et une connaissance, et retourne le cours avec la connaissance définie.
- **definirSequence** , Cette opération permet de définir une séquence d'articulation pour un cours. Elle prend en entrée un cours et une séquence, et retourne le cours avec la séquence définie.

- ajouterIllustration , Cette opération permet d'ajouter une illustration sur les concepts développés dans un cours. Elle prend en entrée un cours et une illustration, et retourne le cours avec l'illustration ajoutée.
- ajouterConceptSupp , Cette opération permet d'ajouter un ensemble de concepts supplémentaires dans un cours. Elle prend en entrée un cours et un concept supplémentaire, et retourne le cours avec le concept supplémentaire ajouté.
- definirObjectifs , Cette opération permet de définir une liste d'objectifs associés à un cours. Elle prend en entrée un cours et une liste d'objectifs, et retourne le cours avec les objectifs définis.
- definirLangueCours , Cette opération permet de définir une langue associée à un cours. Elle prend en entrée un cours et une langue, et retourne le cours écrite en la langue définie.

Ces opérations permettent de manipuler les différentes entités et attributs du modèle PreparationOfTheCourseModel.

L'ensemble E des propriétés/axiomes auxquelles obéissent les relations précédentes est caractérisé par :

- Pour tout cours il existe une spécialité qui lui est associée.
- Pour tout enseignant , il existe une spécialité qui lui est associée.
- Tout cours pour sa préparation est affecté à une équipe pédagogique.
- Pour tout cours , on associe la langue choisie correspondante.
- Pour tout cours , il existe un ensemble de concepts principaux qui y sont ajoutés.
- Pour tout cours , il existe un ensemble de concepts supplémentaires qui y sont ajoutés.
- Pour tout cours , un ensemble de compétences requises est défini.
- Pour tout cours , on associe l'ensemble des connaissances qu'il véhicule.
- Pour tout cours , on associe le crédit correspondant.
- Tout contenu de cours développé est défini en séquences finie d'articulations.
- Pour tout contenu de cours développé, un ensemble d'illustrations sur ledit contenu est défini.

Formellement, le modèle `PreparationOfTheCourseModel` se définit par la spécification algébrique suivante :

```

mod PreparationOfTheCourseModel {

  - - - Sorts - - -

  sorts : Cours , EquipePedagogique , Enseignant , ConferencierPrincipal ,
  Specialite , ConceptPrincipal , Competence , ConceptsSupp , Credit , Connaissance
  , [Sequence] , Illustration , Objectif , LangueCours .

  Subsorts : ConceptPrincipal , ConceptsSupp , Objectif , LangueCours < Cours .

  ops {

    - - - Operations - - -

    op creerEquipe : [Specialite] , Enseignant , Enseignant * conferencierP → EquipePedagogique

    op preparerCours : Cours , EquipePedagogique → Cours

    op affecterEnseignant : Specialite , Enseignant → Enseignant

    op definirLangueCours : Cours , LangueCours → Cours

    op ajouterConceptPrincipal : Cours , ConceptPrincipal → Cours

    op ajouterConceptSupplementaire : Cours , ConceptsSupplementaires → Cours

    op definirConnaissances : Cours , Connaissance → Cours

    op definirObjectifs : Cours , [Objectif] → Cours

    op definirCompetences : Cours , Competence → Cours

    op definirCredit : Cours , Credit → Cours

    op definirSequence : Cours , [Sequence] → Cours

    op ajouterIllustration : Cours , Illustration → Cours

  }

  Axioms {

    Vars :   cours : Cours , enseignant : Enseignant ,
    equipe : EquipePedagogique , specialite : Specialite ,
    connaissance : Connaissance , conceptP : ConceptP ,
    competence : Competence , credit : Credit ,

```

```

sequence:[Sequence],illustration:Illustration,
conceptSupp:ConceptSupp,
objectifs:[Objectifs],langue: LangueCours.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ specialite:Spécialité ;
definir-specialiteCours(cours, specialite)= cours + specialite.
eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ equipe:EquipePedagogique ;
preparerCours( cours, equipe) = cours + equipe.

eq  $\forall$ enseignant:Enseignant ,  $\exists$ specialite:Spécialité ;
affecterEnseignant( specialite , enseignant) = enseignant + specialite.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ langue:LangueCours ;
definirLangueCours( cours , langue) = cours + langue.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ conceptP:ConceptP ;
ajouterConceptPrincipal( cours , conceptP) = cours + conceptP.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ conceptSupp:ConceptSupp ;
ajouterConceptSupp(cours, conceptSupp) = cours + conceptSupp.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ connaissance:Connaissance ;
definirConnaissances(cours , connaissance) = cours + connaissance.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ objectifs:[Objectifs] ;
definirObjectifs( cours , Objectifs) = cours + objectifs.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ competence:Competence ;
definirCompetences( cours , competence) = cours + competence.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ credit:Credit ;
allouerCredit( cours , credit ) = cours + credit.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ sequence:[Sequence] ;
definirSequence( cours , sequence) = cours + sequence.

eq  $\forall$ cours:Cours ,  $\exists$ illustration:Illustration ;
ajouterIllustration(cours, illustration) = cours + illustration.

}
}
endm

```

Modèle de validation du cours

Cette recherche définit un modèle de Validation du cours par CourseValidationModel = (S, OP, E), où S désigne un ensemble d'attributs associé à la Validation d'un cours dans une université 3.0. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E

les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , $S = \{ \text{Cours} , [\text{Observation}] , \text{SupportCours} \}$

- **[Observation]** dénote une liste d'observation ;
- **SupportCours** dénote un support de cours ;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si `conceptdev` dénote un contenu de cours développé, l'opération `analyserConceptsDev` est un morphisme qui prend en entrée l'objet `Cours` et renvoie l'objet `[observation]` denotant la liste d'observations sur le contenu du cours.
- Si `supportCours` dénote un support de cours prêt pour la digitalisation, l'opération `definirSupportCours` prend en entrée les objets `Cours` et la liste d'observations `[observations]` et renvoie l'objet `SupportCours` denotant le support de cours prêt pour la digitalisation.

L'ensemble E des propriétés/axiomes auxquelles obéissent les relations précédentes est caractérisé par :

- Tout contenu de cours développé est analysé pour ressortir une liste d'observations en rapport avec ledit contenu.
- Toutes les observations listées sont utilisées pour modifier le contenu développé et ressortir un support de cours conforme.

Formellement, le modèle `CourseValidationModel` se définit par la spécification algébrique suivante :

```
mod CourseValidationModel {  
  using (PreparationOfTheCourseModel)  
  --- Sorts ---  
  
  Sorts : Observation , SupportCours .  
  
  Subsorts Cours , Observation < SupportCours .  
  
  ops  
  
  --- Operations ---
```

```

{
op  analyserConceptsDev : Cours → [Observation]

op  definirSupportCours : Cours * [Observation] → SupportCours

}

Axioms {
  Vars:  cours : Cours , observation : [Observation] ,
        supportCours : SupportCours .

  eq  ∀cours : Cours , conceptsDev : ConceptsDev , ∃observation : [Observation];
      analyserConceptsDev(cours) = observation .

  eq  ∀cours : Cours , observation : [Observation] ,
      ∃supportCours : SupportCours ;
      definirSupportCours(cours , [observation]) = supportCours .

}

}
endm

```

Modèle de digitalisation du cours

Cette recherche définit un modèle de digitalisation du cours par DigitalizationOfTheCourseModel = (S, OP, E), où S désigne un ensemble d'attributs associé à la digitalisation d'un cours dans une université 3.0. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , S= { SupportCours , CentreNumerique , SalleEnseignant , SalleCoursDistance , PlateformeELearning , CoursNumerique }

Où :

- **CentreNumerique** : dénote le centre universitaire du développement numérique.
- **SalleEnseignant** : dénote la salle des enseignants.
- **SalleCoursDistance** : dénote la salle de cours à distance.
- **PlateformeELearning** : dénote la plateforme eLearning pour l'enregistrement du cours.

- **CoursNumerique** : dénote le cours sous sa forme digitalisée

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si supportCours dénote un support de cours prêt pour la digitalisation et SalleEnseignant , la salle du centre universitaire du développement numérique dédié aux enseignants pour les derniers réglages sur le support de cours avant son téléchargement effectifs alors l'opération reglerSupport prend en entrée l'objet SupportCours et l'objet SalleEnseignant et renvoie l'objet SupportCours denotant le support de cours une fois réglé.
- Si supportCours dénote un support de cours réglé et SalleCoursDistance , la salle du centre universitaire du développement numérique dédiée aux cours à distance et PformeELearning , la plate-forme de e-learning de l'université alors l'opération enregistrerCours prend en entrée l'objet SupportCours , l'objet SalleCoursDistance et l'objet PformeELearning et renvoie l'objet CoursNum denotant le cours digitalisé enregistré dans la plate-forme de e-learning.
- Si SalleEnseignant dénote la salle du centre universitaire du développement numérique dédié aux enseignants pour les derniers réglages sur le support de cours avant son téléchargement effectifs et SalleCoursDistance dénote la salle du centre universitaire du développement numérique dédiée aux cours à distance alors l'opération definirCentreNumerique prend en entrée l'objet SalleEnseignant et l'objet SalleCoursDistance et renvoie l'objet CentreNum denotant le centre universitaire de développement du numérique correspondant.

L'ensemble E des propriétés/axiomes auxquelles obéissent les relations précédentes est caractérisé par :

- Pour tout support de cours , il existe la salle dédiée aux enseignants pour les derniers réglages et produire un support prêt pour l'enregistrement.
- Tout cours numérique est issue de l'enregistrement dans la plate-forme de e-learning de l'université du support de cours réglé , l'opération s'effectuant dans la salle de cours à distance.
- Tout centre universitaire du développement numérique est l'association d'une salle dédiée aux enseignants pour les derniers réglages sur les supports de cours avant son téléchargement effectifs et d'une salle dédiée aux cours à distance .

Formellement, le modèle DigitalizationOfTheCourseModel se définit par la spécification algébrique suivante :

```

mod DigitalizationOfTheCourseModel {

using (PreparationOfTheCourseModel) , (CourseValidationModel)

    - - - Sorts - - -

Sorts : SupportCours , CentreNum , SalleEnseignant , SalleCoursDistance
PlateformeELearning , CoursNum.

Subsorts SalleEnseignant , SalleCoursDistance < CentreNum.

ops {

    --- Operations ---

op reglerSupport : SupportCours * SalleEnseignant → SupportCours

op enregistrerCours : SupportCours * SalleCoursDistance * PformeELearning → CoursNum

op definirCentreNumerique : SalleEnseignant * SalleCoursDistance → CentreNum

}

Axioms {

Vars : centreNum: CentreNum , Salle1 : SalleEnseignant ,
Salle2 : SalleCoursDistance , supportCours : SupportCours ,
plateforme: PlateformELearning , coursNum: CoursNum.

eq  $\forall$ supportCours : SupportCours ,  $\exists$ Salle1: SalleEnseignant;
reglerSupport(supportCours , Salle1) = supportCours.

eq  $\forall$ coursNum : CoursNum ,
 $\exists$ Salle2: SalleCoursDistance, plateforme: PlateformELearning, supportCours : SupportCours ;
enregistrerCours(supportCours , Salle2, plateforme)=plateforme + coursNum.

eq  $\forall$ centreNum : CentreNum ,  $\exists$ Salle1: SalleEnseignant, Salle2: SalleCoursDistance
; definirCentreNumerique ( Salle1 , Salle2 ) = centreNum.

}
}
endm

```

Modèle de gestion des échanges

Cette recherche définit un modèle de gestion des échanges autour du cours par InterchangeManagementModel = (S, OP , E), où S désigne un ensemble d'attributs associé à la gestion des échanges autour du cours dans une université 3.0. OP désignant l'ensemble des

relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , $S = \{ \text{Forum} , \text{EspaceCollabo} , \text{Etudiant} , \text{Enseignant} , \text{S2S} , \text{S2L} , \text{L2L} , \text{VideoConf} \}$

Où :

- **Forum** : dénote un forum de discussion.
- **EspaceCollabo** : dénote un espace collaboratif.
- **Etudiant** : dénote un étudiant.
- **S2S** : dénote un échange entre étudiants.
- **S2L** : dénote un échange entre étudiants et enseignants.
- **L2L** : dénote un échange entre enseignants.
- **VideoConf** : dénote une vidéo-conférence.

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si CoursNum dénote un cours numérique, l'opération ajouterCoursNum prend en entrée l'objet CoursNum et l'objet EspaceCollaboratif renvoie l'objet CoursNum denotant le cours contenu dans l'espace collaboratif.
- Si S2S est un objet échanges entre étudiants , S2L est un objet échanges entre étudiants et enseignants , et L2L est un objet échanges entre enseignants ; l'opération definirforum prend en entrée la combinaison des objets S2S ,S2L et L2L , et renvoie l'objet Forum denotant la création du forum de discussion à cet.
- Si Cours dénote un cours et SalleCoursDistance , la salle du centre universitaire du développement numérique dédié aux cours à distance alors l'opération lancerVideoConference prend en entrée l'objet Cours et l'objet SalleCoursDistance , et renvoie l'objet VideoConf denotant le lancement de la vidéo-conférence associée au cours , dans la salle de cours à distance.

L'ensemble E des propriétés/axiomes auxquelles obéissent les relations précédentes est caractérisé par :

- Tout cours numérisé est ajouter dans espace collaboratif pour des interactions autours.

- Pour tout échanges entre étudiants entre eux , enseignants entre eux , étudiants entre enseignants , il existe un forum à cet effet.
- Pour tout cours il existe une vidéo conférence lancée dans la salle de cours à distance à cet effet.

Formellement, le modèle InterchangeManagementModel se définit par la spécification algébrique suivante :

```

mod InterchangeManagementModel {

  - - - Sorts - - -

  Sorts : Forum , EspaceCollabo , Etudiant , Enseignant ,
  S2S , S2L , L2L , PformeELearning , VideoConference .

  Subsorts EspaceCollabo < PformeELearning .

  Subsorts Forum < EspaceCollabo .

  Subsorts S2S , S2L , L2L < Forum .

  ops {

    - - - Operations - - -

    op ajouterCoursNum : CoursNum * EspaceCollabo → CoursNum

    op definirForum : S2S * S2L * L2L → Forum

    op lancerVideoConference : Cours * SalleCoursDistance → VideoConference

  }

  Axioms {

    Vars : coursNum: CoursNum ,   tudiant : Etudiant ,
    espaceCollabo: EspaceCollabo ,
    forum : Forum , ss: S2S , sl: S2L , ll: L2L ,
    Salle2 : SalleCoursDistance , videoConference : VideoConference .

    eq ∀coursNum : CoursNum ∃espaceCollabo : EspaceCollabo ;
    ajouterCoursNum(coursNum , espaceCollabo) = espaceCollabo + coursNum .
  }

```

```

eq  $\forall ss : S2S, sl : S2L, ll : L2L$  ,  $\exists forum : Forum$  ;
definirForum ( ss ,sl , ll) = forum.

eq  $\forall cours : Cours$  ,  $\exists Salle_{\{2\}} : SalleCoursDistance, videoConference : VideoConference$  ;
lancerVideoConference (cours ,Salle2 )= videoConference.

}

}

endm

```

Modèle de gestion des diplômes

Cette recherche définit un modèle de gestion des diplômes par DiplomaManagementModel = (S, OP, E) , où S désigne un ensemble d'attributs associé à la gestion des diplômes dans une université 3.0. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , S= { Etudiant , IDU , InterfaceDplome , DP }

Où :

- **IDU** dénote un identifiant unique propre à un étudiant donné ;
- **InterfaceDiplome** dénote une interface d'accès aux diplômes donnée ;
- **Diplôme** dénote un diplôme ;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- Si Etudiant est un objet étudiant donné , l'opération attribuerId est un morphisme qui prend en entrée un objet Etudiant et associe son IDU denotant son identifiant unique.
- Si IDU est un objet identifiant unique donné et InterfaceDplome , dénote une interface d'accès aux diplômes donnée , l'opération getDiplom est un morphisme qui prend en entrée la composition de IDU et InterfaceDplome , et associe l'objet Diplôme denotant le diplôme correspondant à l'IDU saisie sur l'interface d'accès aux diplômes .

L'ensemble E des propriétés/axiomes auxquelles obéissent les relations précédentes est caractérisé par :

- Pour tout étudiant, existe un identifiant unique qui lui est attribué.

- Tout identifiant unique propre à un étudiant saisi sur l'interface lié aux diplômes lui donne accès à son diplôme.
- Deux étudiants différents ne peuvent pas avoir le même identifiants d'accès aux diplômes.

Formellement, le modèle DiplomaManagementModel se définit par la spécification algébrique suivante :

```

mod DiplomaManagementModel {
  - - - Sorts - - -

  sorts : InterfaceDplome , Etudiant , IDU , Diplome

  Subsort Diplome < InterfaceDplome.

  ops{
    - - - Operations - - -

    op attribuerId : Etudiant → IDU

    op getDiplom : IDU * InterfaceDplome → Diplome

  }
  Axioms {

Vars:  etudiant: Etudiant , id: IDU ,
interfaceDiplome:InterfaceDiplome , diplome: Diplome

    eq ∀etudiant: Etudiant , ∃id: IDU ; attribuerId(etudiant)= id.

    eq ∀e1,e2: Etudiant ; e1 ≠ e2 ,; ∃id1: IDU , id2: IDU ;
      attribuerId(e1) = id1 , attribuerId(e2) = id2 , id1 ≠ id2.

    eq ∀i: IDU , ∃interfaceDiplome: InterfaceDiplome, diplome: Diplôme ;
      getDiplom( (interfaceDiplome, id )= interfaceDiplome + diplome.

  }
}
endm

```

Modèle d'université 3.0

Le modèle d'université projetée est la résultante de la composition des différents modules précédents.

Cette recherche définit un modèle d'université 3.0 par $\text{UniversityModel3.0} = (S, OP, E)$, où S désigne un ensemble d'attributs associé à une université 3.0. OP désignant l'ensemble des relations ou opérations entre ces attributs et E les différentes propriétés auxquelles obéissent les relations précédentes.

Ainsi , $S = \{ U_{3.0} , \text{Politique} , \text{Procedure} , \text{SpecLocale} \}$.

Où :

- $U_{3.0}$ dénote une université 3.0 ;
- **politique** dénote une politique institutionnelle ;
- **procedure** dénote une procédure spécifique ;
- **specLocale** dénote une spécificité locale ;

L'ensemble OP des relations est caractérisé par :

- **créerCentreNum** , Cette opération permet de créer un CUDN au sein l'université 3.0. Elle prend en entrée l'université 3.0 et un CUDN, et retourne l'université 3.0 contenant le CUDN créé.
- **créerPlateformElearning** , Cette opération permet de créer la plate-forme de e-learning de l'université 3.0. Elle prend en entrée une université 3.0 et une plate-forme de e-learning , et retourne l'université 3.0 contenant la plate-forme de e-learning créée.
- **créerEspaceCollaboratif** , Cette opération permet de créer un espace collaboratif dédié à un cours. Elle prend en entrée la plate-forme de e-learning de l'université 3.0 et un espace collaboratif, et retourne la plate-forme de e-learning contenant l'espace collaboratif créé.
- **créerForum** , Cette opération permet de créer un forum de discussion au sein de l'espace collaboratif dédié à un cours. Elle prend en entrée un espace collaboratif et un forum, et retourne l'espace collaboratif contenant le forum créé..
- **inscriptionStudent** , Cette opération permet de définir l'inscription d'un étudiant dans l'université 3.0. Elle prend en entrée une université 3.0 et un étudiant, et retourne l'université 3.0 avec l'étudiant inscrit.

- `apprentissageCours` , Cette opération permet de définir l'apprentissage d'un cours par un étudiant. Elle prend en entrée un espace collaboratif et un étudiant, et retourne l'espace collaboratif présentant l'étudiant connecté.
- `definirPolitiques` , Cette opération permet de définir la politique institutionnelle liée à une université 3.0 donnée. Elle prend en entrée une université 3.0 et la politique institutionnelle associée, et retourne l'université 3.0 contenant sa politique institutionnelle définie.
- `definirProcedure` , Cette opération permet de définir les procédures spécifiques liées à une université 3.0 donnée. Elle prend en entrée une université 3.0 et un ensemble de procédures spécifiques, et retourne l'université 3.0 contenant les procédures spécifiques définies.
- `definirSpecLocale` , Cette opération permet de définir les spécificités locales liées à une université 3.0 donnée. Elle prend en entrée une université 3.0 et un ensemble de spécificités locales , et retourne l'université 3.0 contenant les spécificités locales définies.

L'ensemble E des propriétés/axiomes auxquelles obéissent les relations précédentes est caractérisé par :

- Pour tout université 3.0 , il existe un CUDN qui y est créé dans son enceinte.
- Pour tout université 3.0 , il existe une plate-forme de e-learning qui y est créée pour les ressources pédagogiques en ligne.
- Pour toute plate-forme de e-learning il existe un espace collaboratif qui y est créé pour le cours en ligne.
- Pour tout espace collaboratif , il existe un forum qui y est créé pour les échanges entre enseignants et étudiants , étudiants entre eux et enseignants entre eux.
- L'intégration de tout étudiant donné dans l'université 3.0 se fait par une inscription au sein de ladite université.
- L'apprentissage d'un cours par un étudiant se fait via l'espace collaboratif créé pour ledit cours.
- Pour toute université 3.0 , il existe une politique institutionnelle qui est définie.
- Pour toute université 3.0 , il existe un ensemble de procédures spécifiques définies.
- Pour toute université 3.0 , il existe un ensemble de spécificités locales qui y sont définies.

Formellement, le modèle `UniversityModel3.0` se définit par la spécification algébrique suivante :

```

mod UniversityModel3.0 {

  using : (PreparationOfTheCourseModel), (CourseValidationModel) ,
  (DigitalizationOfTheCourseModel), (InterchangeManagementModel),
  (DiplomaManagementModel)

  - - - Sorts - - -

  Sorts : University3.0 , Politique , Procedure , SpecLocale

  Subsorts Politique , Procedure , SpecLocale < University3.0.

  ops {

    - - - Operations - - -

    op  creerCentreNum : University3.0 * CentreNum → University3.0

    op  creerPlateformElearning : University3.0 * PlateformElearning → University3.0

    op  creerEspaceCollabo : PlateformElearning * EspaceCollabo → PlateformElearning

    op  creerForum : EspaceCollabo * Forum → EspaceCollabo

    op  inscriptionStudent : University3.0 * Etudiant → University3.0

    op  apprentissageCours : EspaceCollabo * Etudiant → EspaceCollabo

    op  definirPolitiques : University3.0 * Politiques → University3.0

    op  definirProcedure : University3.0 * Procedure → University3.0

    op  definirSpecLocale : University3.0 * specLocale → University3.0

  }

  Axioms{
    Vars : university: University3.0 , centreNum: CentreNum , cours: Cours ,
          etudiant: Etudiant , plateforme: PlateformElearning ,
          espaceCollabo: EspaceCollabo , forum: Forum ,
          politique: Politique , procedure: Procedure , specificite: SpecLocale

    eq  ∀university : University3.0 , ∃centreNum : CentreNum ;

```

```

creerCentreNum(university,centreNum)=university+centreNum.

eq  $\forall$ university : University3.0 ,  $\exists$ plateforme : PlatformElearning ;
creerPlatformElearning(university,plateforme)=university+plateforme.

eq  $\forall$ plateforme : PlatformElearning, $\exists$ espaceCollabo : EspaceCollabo;
creerEspaceCollabo(plateforme,espaceCollabo)=plateforme+espaceCollabo.

eq  $\forall$ espaceCollabo : EspaceCollabo ,  $\exists$ forum : Forum;
creerForum(espaceCollabo, forum) = espaceCollabo + forum.

eq  $\forall$ etudiant : Etudiant,university : University3.0 ;
inscriptionStudent(university,etudiant)= university + etudaint.

eq  $\forall$ etudiant : Etudiant ,  $\exists$ espaceCollabo : EspaceCollabo ;
apprentissageCours(espaceCollabo,etudiant)= espaceCollabo + etudiant.

eq  $\forall$ university : University3.0 ,  $\exists$ politique : Politique;
definirPolitiques(university, politique) = university + politique.

eq  $\forall$ university : University3.0 ,  $\exists$ procedure : Procedure ;
definirProcedure(university,procedure)= university + procedure.

eq  $\forall$ university : University3.0 ,  $\exists$ specificites : SpecLocale ;
definirSpecLocale(university, specificite)= university + specificite.

    }
}
endm

```

4.6 Analyse du modèle

Le modèle défini met en exergue la numérisation de plusieurs activités routinière de l'université classique notamment les activités liées à l'enseignement et l'apprentissage, et la dématérialisation des processus en occurrence la délivrance des diplômes.

L'analyse du modèle défini peut ainsi se résumer à l'identification de l'impact, des enjeux et des perspectives potentiels induits de la transformation digitale au sein du système d'enseignement supérieur Camerounais.

4.6.1 Impact

- Simplification des processus : L'application du modèle défini peut aider à simplifier les processus d'enseignement, d'apprentissage et de délivrance de diplômes en permettant aux étudiants de suivre leurs formations académiques à distance, faciliter l'accès aux

ressources académiques.

- L'application du modèle peut permettre de consulter les diplômes en ligne et d'y avoir accès en tout lieu et tout temps car le diplôme se résume à un code.
- Amélioration de la sécurité : L'application du modèle peut améliorer la sécurité des données et des informations en garantissant que les informations ne peuvent être consultées que par des personnes autorisées et en utilisant des technologies de cryptage pour protéger les données.

4.6.2 Enjeux

Plusieurs enjeux découlent du modèle défini dans l'enseignement supérieur au Cameroun.

On a entre autres :

- L'enjeu principal qui se dégage est la gestion du changement car la mutation vers une université 3.0 induit de nombreuses mutations.
- L'exigence des compétences sur la pensée critique et le design par le personnel de l'équipe pédagogique pour présenter aux étudiants les illustrations sur les concepts développés lors de préparation du cours.
- L'application du modèle induit une mise sur pied d'une nouvelle législation en rapport avec le nouveau système.
- L'application du modèle induit une définition d'un modèle économique adapté à au nouveau système.
- Changement de culture et résistance au changement : La transition vers une université 3.0 implique un changement de culture organisationnelle et une adoption de nouvelles pratiques de travail. Cela peut donc être accompagné de résistance au changement de la part du personnel et des étudiants, en raison du besoin d'apprendre de nouvelles compétences, de modifier les méthodes d'enseignement, et de s'adapter à un environnement numérique.
- Formation continue et développement professionnel des enseignants : Les enseignants et le personnel doivent être formés aux nouvelles technologies et compétences nécessaires pour faire face aux défis de l'université 3.0. Cela implique des programmes de formation continue et de développement professionnel pour soutenir l'acquisition de compétences pédagogiques, d'innovation, d'utilisation des technologies éducatives, et de conception de cours en ligne.

- Gestion des données et sécurité : Une université 3.0 engendre une grande quantité de données, qu'il s'agisse de données des étudiants, de données de recherche, ou de données administratives. Il est essentiel de mettre en place des politiques et des infrastructures de gestion des données solides, ainsi que des mesures de sécurité pour protéger la confidentialité et l'intégrité des données.
- Accessibilité et égalité des chances : L'intégration des nouvelles technologies et la numérisation des processus doivent être mises en œuvre de manière à garantir l'accès équitable aux ressources et services pour tous les étudiants, en prenant en compte les différences socio-économiques, les besoins des étudiants en situation de handicap, et les problèmes d'inclusion numérique.
- Partenariats et collaboration : Le passage à une université 3.0 peut impliquer une augmentation des partenariats et de la collaboration avec d'autres institutions, des entreprises, et la société civile. Cela peut nécessiter des efforts pour établir des alliances stratégiques, partager des ressources et explorer des opportunités de coopération en matière de recherche, d'incubation d'entreprises, et d'innovation.

4.6.3 Perspectives

La transformation digitale dans l'enseignement supérieur peut offrir plusieurs avantages et perspectives, notamment :

- Amélioration de l'expérience étudiante : l'application du modèle d'université 3.0 défini pourra offrir des technologies et des outils numériques qui améliorent l'expérience étudiante. Les étudiants peuvent bénéficier d'un accès en ligne aux cours, de ressources éducatives interactives, de plateformes de discussion et de collaboration en ligne, ainsi que de possibilités d'apprentissage adaptatif. Cela permet une plus grande flexibilité dans l'apprentissage, une personnalisation de l'enseignement et un accès à des ressources variées.
- Amélioration de l'efficacité administrative : Les technologies numériques simplifient les processus administratifs tels que l'inscription en ligne, la gestion des résultats et le suivi des progrès des étudiants. Cela permet d'améliorer l'efficacité des tâches administratives, de réduire les erreurs et les délais, et de libérer du temps pour se concentrer sur des activités plus stratégiques.
- Expansion de l'apprentissage en ligne : L'application du modèle pourra permettre un développement et une promotion de l'apprentissage en ligne, offrant ainsi des opportunités d'éducation à distance à un public plus large. Cela peut inclure des cours en ligne, des programmes de formation continue, des certificats professionnels et des diplômes à distance. L'apprentissage en ligne permet une accessibilité accrue à l'éducation, facilitant également la formation tout au long de la vie.

- Renforcement de la recherche et de l'innovation : Les technologies numériques dans le modèle d'université 3.0 projetée pourra soutenir la recherche et l'innovation. Les collaborations en ligne facilitent les partenariats internationaux, les échanges de connaissances et la recherche collaborative. Les outils d'analyse des données et les ressources numériques améliorent la collecte, le traitement et l'interprétation des données de recherche, accélérant ainsi le progrès scientifique et l'innovation.
- Développement de compétences du 21e siècle : L'application du modèle projetée pourra permettre une préparation des étudiants aux compétences du 21e siècle, telles que la pensée critique, la résolution de problèmes, la collaboration, la communication et la maîtrise des technologies. Les étudiants acquièrent une expérience pratique dans l'utilisation des nouvelles technologies, ainsi que des compétences transférables qui sont essentielles pour réussir dans un environnement professionnel en constante évolution.
- L'application du modèle pourra induire l'internationalisation de l'enseignement supérieur : Les technologies numériques facilitent l'internationalisation de l'enseignement supérieur. Les universités peuvent offrir des programmes de collaboration internationale, des cours en ligne multilingues et des échanges virtuels pour favoriser la compréhension interculturelle et l'accès à l'éducation de qualité pour les étudiants du monde entier.

4.7 Validation du modèle

Le système d'enseignement classique suscite de plus en plus des interrogations. Non seulement découlant de sa limite en termes d'offre de possibilité à chaque étudiant d'avoir accès aux enseignements de façon confortable, avec des effectifs de plus en plus pléthoriques au sein de nos universités.

On note également un boom démographique pas prêt d'atteindre son apogée. Sans oublier les exigences d'un monde de plus en plus digital avec des processus inter-organisationnels. Le modèle proposé a eu pour objectif de profiter de la boîte à outils qu'offre la 4ème révolution industrielle pour numériser les services universitaires et favoriser non seulement l'apprentissage à distance mais également l'augmentation de l'expérience étudiant en leur offrant une pédagogie adaptée au contexte du nouveau monde.

Avec ce système l'étudiant se positionne comme acteur principal dans sa formation. L'objectif étant aussi de favoriser le gain de temps non seulement côté enseignant, leur permettant de maximiser dans la recherche scientifique mais aussi côté étudiant, leur permettant d'avoir du temps pour des activités parallèles comme l'entrepreneuriat.

Cette recherche a défini un modèle algébrique d'une université 3.0 projetée basé sur l'ingénierie de domaine. L'avantage des structures algébriques étant leur facile réutilisabilité permettant ainsi une optimisation facile en termes de modifications, d'amélioration et d'adaptation.

Ce modèle utilise pour base le modèle d'organisation 4.0 proposé qui constituait une base à niveau d'abstraction «élevé» d'ingénierie d'exigence pour la modélisation des organisations dans le contexte de la quatrième révolution industrielle.

Les modèles algébriques et de surcroît basé sur la modularité étant facilement réutilisable et généralement très favorable aux modifications et ajout.

Ainsi , le modèle proposé constitue une base importante de l'ingénierie des exigences pour la mise en place d'une université 3.0 au Cameroun et dans tous les pays présentant les caractéristiques similaires.

4.8 Conclusion

Le but de chapitre était de définir un modèle algébrique d'une université 3.0 au Cameroun. Il a commencé par présenter les différentes révolutions industrielles observées dans le domaine de l'éducation. Le système d'enseignement supérieur camerounais à été décrit et sa position par rapport aux révolutions a été relevée puis un modèle algébrique du système éducatif 3.0 a été défini et analysé.

CHAPITRE 5

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Compte tenu de la forte mutation du monde impulsée par de grandes avancées technologiques, on assiste à l'industrie 4.0. Cette recherche tentait de montrer comment fonctionneront les organisations de demain avec le digital. Ainsi, ce travail a permis de ressortir un modèle projeté d'une organisation 4.0. Cette recherche a utilisé pour se faire l'ingénierie de domaine comme base de définition du modèle. Ceci a permis de se situer à un niveau d'abstraction élevé car n'étant pas dans un cas particulier. Le modèle d'organisation digitale projetée résultant a permis de définir un ensemble de modèles génériques de références liés à une organisation. Ce qui peut aider à concevoir des processus métiers efficaces et efficaces pour une organisation 4.0 et minimiser les erreurs. L'analyse du modèle résultant a permis de mettre en évidence l'impact, les enjeux et perspectives de la transformation digitale au sein d'une organisation. Le modèle projeté a été appliqué au système d'enseignement supérieur camerounais. Le système actuel a été décrit puis un système de transition a été ressorti. Ce dernier a permis de montrer les différentes mutations sur le système actuel pour transiter au système 3.0. Un modèle algébrique d'université 3.0 est ainsi défini, l'avantage des structures algébriques étant leur facile réutilisabilité. Cette solution constitue une base importante pour une ingénierie applicative dans l'optique d'implémentation effective du modèle. Le modèle d'université 3.0 proposé favorise le gain de temps non seulement côté enseignant leurs permettant de maximiser dans la recherche scientifique mais aussi côté étudiant leur permettant d'avoir du temps pour l'entrepreneuriat. Les universités du monde étant en constantes collaboration, cette solution permet également de se conformer au monde digital avec des processus inter-universitaires. Cette solution peut en outre apporter la transparence et la célérité notamment dans la délivrance des diplômes. Cependant, la transformation digitale du système d'enseignement supérieur ne pouvant se limiter à la digitalisation de certaines activités liés à l'enseignement et l'apprentissage. La conception d'un système universitaire 3.0 global basé sur ces techniques en y ajoutant les aspects liés à la collaboration et les échanges entre les multiples acteurs du système. Ainsi, l'élargissement du domaine que constitue l'université et l'introduction dans la modélisation des technologies des industries 4.0 et 5.0 peuvent être des pistes importantes pour définir un modèle global et muter dans l'université 4.0 et 5.0. De même l'adaptation du modèle d'organisation 4.0 à l'industrie 5.0 pour une définition d'une organisation 5.0 notamment la place de l'homme dans une organisation dans un contexte de robotique peut également constituer une piste de recherche.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] UNDP Africa. Renforcement de l'alignement stratégique pour le développement de l'Afrique : enseignements tirés du programme de développement durable à l'horizon 2030 des Nations Unies, de l'agenda 2063 de l'Union africaine et des « cinq grandes priorités » de la Banque africaine de développement. Technical report, 2017.
- [2] Ishteyaaq Ahmad, Sonal Sharma, Rajesh Singh, Anita Gehlot, Neeraj Priyadarshi, and Bhakisipho Twala. Mooc 5.0 : A roadmap to the future of learning. *Sustainability*, 14(18) :11199, 2022.
- [3] José Allouche and Romain Zerbib. La transformation digitale : enjeux et perspectives. *La Revue Des Sciences de Gestion*, 301302(1) :75–76, 2020.
- [4] David Autissier and Jean-Michel Moutot. La conduite du changement pour et avec les technologies digitales. In *Les miscellanées du changement*, pages 157–173. EMS Editions, 2016.
- [5] Daniel Beverungen, Dennis Kundisch, and Nancy Wunderlich. Transforming into a platform provider : strategic options for industrial smart service providers. *Journal of Service Management*, 2020.
- [6] Dines Bjørner. Domain engineering. *Formal Methods : State of the Art and New Directions*, pages 1–41, 2010.
- [7] Dines Bjørner. Domain analysis and description principles, techniques, and modelling languages. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)*, 28(2) :1–67, 2019.
- [8] Fatih BÖLÜKBAŞI. Revolution and society 5.0 : Japanese human centric approach and sectoral changes. *Toplumsal Politika Dergisi*, 2(2) :1–28, 2021.
- [9] Kadir Alpaslan Demir, Gözde Döven, and Bülent Sezen. Industry 5.0 and human-robot co-working. *Procedia computer science*, 158 :688–695, 2019.
- [10] Fethi FERHANE, Elyas SALAH, and Abdelkader DJEFLAT. Les compétences et les capacités essentielles à la réussite de la transformation digitale des entreprises : Une étude exploratoire sur 94 entreprises algériennes. *Revue des Sciences Economiques*, 13(15), 2017.
- [11] Jackie Gerstein. Moving from education 1.0 through education 2.0 towards education 3.0. 2014.

- [12] Karim GHANOUE. Transformation digitale : les nouvelles compétences à l'épreuve des big data. *Journal Of Social Science and Organization Management*, 1(1), 2020.
- [13] Joseph Goguen. Hidden algebra for software engineering. In *Proceedings Conference on Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, Auckland, New Zealand*, pages 35–59. Citeseer, 1999.
- [14] Joseph A Goguen, Timothy Winkler, José Meseguer, Kokichi Futatsugi, and Jean-Pierre Jouannaud. *Introducing obj*. Springer, 2000.
- [15] Anealka Aziz Hussin. Education 4.0 made simple : Ideas for teaching. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 6(3) :92–98, 2018.
- [16] Yusuf Kocoglu and Frédéric Moatty. Diffusion et combinaison des tic. *Réseaux*, (4) :33–71, 2010.
- [17] In Lee and Kyoochun Lee. The internet of things (iot) : Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business horizons*, 58(4) :431–440, 2015.
- [18] Ines Mergel, Noella Edelman, and Nathalie Haug. Defining digital transformation : Results from expert interviews. *Government information quarterly*, 36(4) :101385, 2019.
- [19] Océane Mignot. *La Transformation Digitale des entreprises : Principes, exemples, mise en oeuvre et impact social*. Maxima, 2019.
- [20] Pitshou Moleka. Dispelling the limitations of education 5.0 and outlining the vision of education 6.0. 2023.
- [21] M Mortson. The industrial revolution from industry 1.0 to 5.0, 2018.
- [22] Katyeudo K de S Oliveira and Ricardo AC de SOUZA. Digital transformation towards education 4.0. *Informatics in Education*, 21(2) :283, 2022.
- [23] Michael Rüßmann, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, and Michael Harnisch. Industry 4.0 : The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1) :54–89, 2015.
- [24] Arianne Teherani, Tina Martimianakis, Terese Stenfors-Hayes, Anupma Wadhwa, and Lara Varpio. Choosing a qualitative research approach. *Journal of graduate medical education*, 7(4) :669–670, 2015.
- [25] Michael Trucano, Glen Farrell, and Shafika Isaacs. Survey of ict and education in africa : A summary report based on 53 country surveys. 2007.
- [26] Gérard Valenduc and Patricia Vendramin. L'évaluation des impacts de la digitalisation sur el travail et l'emploi, changements et continuités. *L'emploi et ses nouveaux défis : vieillissement, digitalisation, migration et (dé) mondialisation, Actes du 23e Congrès des économistes, Charleroi : Université Ouverte de la Fédération Wallonie-Bruxelles (Belgique)*, 2019.
- [27] Xiaoxi Zhang, Machiko Shinozuka, Yuriko Tanaka, Yuko Kanamori, and Toshihiko Masui. How ict can contribute to realize a sustainable society in the future : a cge approach. *Environment, Development and Sustainability*, 24(4) :5614–5640, 2022.