

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Table des matières	v
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
Remerciements	xi
1 Introduction	1
1.1 Contexte et motivation	1
1.2 Problématique	3
1.3 Objectif et méthodologie	4
1.4 Organisation du mémoire	5
2 État de l’art	7
2.1 L’apprentissage mobile dans l’enseignement à distance	7
2.2 Potentiels de l’apprentissage mobile	11
2.3 Technologies et applications mobiles d’apprentissage	15
2.4 Conclusion	17
3 Modèle d’apprentissage mobile en informatique et génie logiciel	19
3.1 Vue générale d’un modèle d’apprentissage mobile	19
3.2 Caractéristiques des applications mobiles de l’apprentissage mobile	20
3.3 Un apprentissage au contenu varié	25
3.4 L’apprentissage mobile en informatique et génie logiciel	27
3.5 Un modèle conceptuel complet de l’apprentissage mobile	31
3.6 Conclusion	34
4 Implémentation du m-learning comme outil de support	36
4.1 Styles architecturaux pour un apprentissage mobile personnalisable	36
4.2 Types d’application pour un apprentissage mobile personnalisable	40
4.3 Expérimentation et évaluation	55

4.4	L'architecture hybride pour les applications multiplateformes d'apprentissage mobile	64
4.5	Conclusion	71
5	Conclusion	74
5.1	Contributions	77
5.2	Perspectives	78
	Bibliographie	80

Liste des tableaux

2.1	Contexte de formation dans l'apprentissage électronique et dans l'apprentissage mobile	11
4.1	Réponses des étudiants sur l'utilisation quotidienne des téléphones intelligents	57
4.2	Classement par type d'information que cherchent les étudiants	58

Liste des figures

1.1	Pourcentage de temps d'utilisation globale des navigateurs mobiles versus le temps d'utilisation globale d'autres applications durant les années 2013 et 2014	2
1.2	Pourcentage de temps d'utilisation détaillée des navigateurs mobiles versus le temps d'utilisation détaillée d'autres applications entre 2013 et 2014	2
2.1	Concepts clefs qui définissent l'apprentissage mobile	12
2.2	Les types et les caractéristiques du contenu de l'apprentissage mobile	16
3.1	Présentation globale des concepts de l'apprentissage mobile	20
3.2	Présentation des caractéristiques sur lesquelles repose l'apprentissage mobile comme outil de support	21
3.3	L'apprentissage mobile offre un contenu varié	26
3.5	Exemple d'outil de collaboration et de gestion des versions (copies d'écran d'un téléphone)	30
3.6	Modèle conceptuel de l'apprentissage mobile	32
4.1	Modèle-Vue-Contrôleur	38
4.2	Modèle-Vue-Présentation	38
4.3	Modèle-Vue-VueModèle	39
4.4	Principe de fonctionnement d'une Application Web ; le code réside sur le serveur	42
4.5	Pages issues d'un site web adaptatif	44
4.6	Page issue d'un site web non adaptatif	47
4.7	Principe de fonctionnement d'une application native ; le code réside sur le téléphone intelligent	50
4.8	Exemple d'activités sous Android	51
4.9	Principe de fonctionnement d'une application hybride ; le code réside sur le téléphone intelligent et se sert d'une infrastructure logicielle pour pouvoir exploiter les fonctionnalités natives du téléphone	53
4.10	Fréquence d'accès au site du cours sur téléphone intelligent	58
4.11	Onglets de l'application GIF1003 Mobile	59
4.13	Appréciation de l'application GIF1003 Mobile	62
4.14	Utilisation du style MVVM dans la conception d'une application hybride	67

4.15	Présentation globale de l'architecture hybride avec Cordova	68
4.16	Vue détaillée de l'architecture hybride avec Cordova	69
4.17	Processus d'exécution d'une application hybride pour l'appel des modules d'extension	70

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte et motivation

Au cours des dix dernières années, l'utilisation des téléphones intelligents a littéralement explosé. D'après le rapport de l'ITU (International Telecommunication Union), publié en décembre 2015, le nombre des abonnés à la téléphonie mobile a augmenté de 2,9 milliards en 2006 à 6,9 milliards en juillet 2015 [22]. Sur le même sujet, dans son rapport publié en juillet 2012, International Data Corporation avait déjà affirmé que le pourcentage des téléphones intelligents vendus avait augmenté de 61,7% entre 2011 et 2012 [21].

Par ailleurs, Flurry Analytics, une entreprise spécialisée dans les statistiques, monétarisation et publicité mobile, avait publié au début de l'année 2014 un rapport sur les habitudes d'utilisation d'appareils connectés aux Etats-Unis. Ce rapport démontrait la domination des applications mobiles devant les sites Web mobiles (figure 1.1), ainsi que la hausse du taux d'utilisation des applications devant celui uniquement de navigateurs Web (figure 1.2) [28].

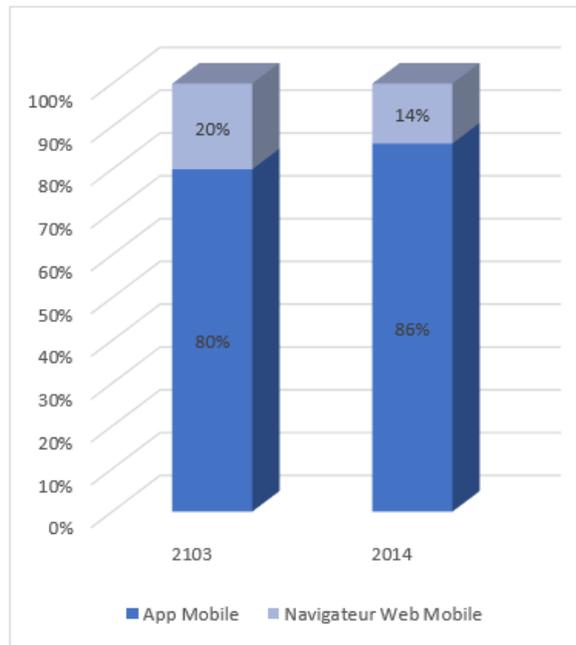


FIGURE 1.1 – Pourcentage de temps d’utilisation globale des navigateurs mobiles versus le temps d’utilisation globale d’autres applications durant les années 2013 et 2014

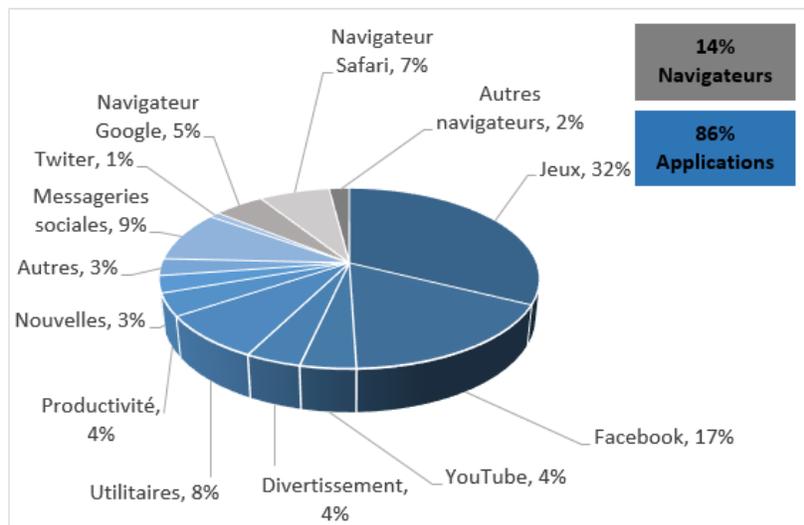


FIGURE 1.2 – Pourcentage de temps d’utilisation détaillée des navigateurs mobiles versus le temps d’utilisation détaillée d’autres applications entre 2013 et 2014

Aussi, notre société vit dans un besoin en perpétuelle croissance de services de téléphone intelligent allant au-delà des messages vocaux et écrits. Les technologies de l’information et de la communication (TIC) ont connu des changements énormes et ont influencé notre société dans tous les domaines de la vie. De façon continue, nous

assistons à une évolution technologique où les capacités des ordinateurs personnels, des téléphones cellulaires, des agendas électroniques, des lecteurs multimédias, des appareils de positionnement global et autres convergent vers un seul appareil. En effet, toutes ces technologies peuvent être combinées sous la forme d'un téléphone intelligent [37, 59].

Partout, le téléphone intelligent est devenu un outil polyvalent [2]. Cet appareil de poche, contrairement aux autres technologies mobiles telles que les ordinateurs portables, n'est pas juste transporté d'un point à un autre, mais offre des opportunités d'utilisation indépendamment de l'espace et du temps.

En outre, ce ne sont pas seulement des dispositifs de communication entre les personnes, ce sont également de puissants appareils de recherche. Selon Martial et al. [37], ces appareils mobiles offrent de multiples possibilités d'accès aux ressources, à l'information, et aux connaissances à l'aide des applications d'apprentissage, des réseaux sociaux, des blogues, des wikis, des jeux, etc.

En raison de la pénétration significative de ces appareils mobiles dans notre quotidien, il apparaît logique de chercher à exploiter le potentiel de cette technologie pour développer des activités éducatives innovantes. Il est donc important d'analyser les caractéristiques des appareils mobiles, de comprendre ce qui les rend attrayants et efficaces et ainsi de trouver des possibilités d'en faire des outils productifs d'éducation.

Ces dispositifs mobiles sont en train de transformer le processus d'apprentissage de manière à le considérer comme une activité omniprésente disponible tout au long de la vie humaine. L'éducation n'est donc plus une responsabilité exclusive des enseignants et enseignantes. Elle bénéficie de la participation et de la collaboration des parents, des hommes et femmes d'affaires, des scientifiques, des aînés et étudiants à travers différents groupes d'âge [55].

1.2 Problématique

Lorsque l'on fait référence à l'apprentissage mobile¹, on mentionne souvent le concept « d'apprentissage en mouvement »²; c'est-à-dire en conduisant, en étant assis, en marchant... que l'on utilise ses mains ou non, ou que l'on utilise ses yeux ou non [59]. Un tel style d'apprentissage met en évidence l'apport des appareils mobiles dans l'éducation et ouvre la voie à une réflexion sérieuse pour comprendre les avantages que peuvent

1. M-learning

2. Learning on the move

apporter ces appareils mobiles dans un contexte donné de façon à développer un modèle de l'apprentissage mobile efficace.

Parmi ses avantages, l'apprentissage mobile permet de s'approprier l'exercice d'apprendre de manière à bien gérer le flux du contenu en tenant compte des contraintes spécifiques imposées par les appareils mobiles et le contexte dans lequel on se trouve. Comment identifier les occasions d'apprentissage pour pouvoir concevoir un modèle de l'apprentissage mobile productif dans ces occasions particulières ? C'est précisément la question qui nous intéresse et spécifiquement pour l'enseignement à distance en informatique et génie logiciel.

1.3 Objectif et méthodologie

Dans ce projet de recherche, il s'agit de concevoir un modèle de l'apprentissage mobile qui serait bénéfique pour l'enseignement en informatique et génie logiciel. Cette recherche est motivée par les questions suivantes :

- Comment les applications mobiles peuvent-elles contribuer à améliorer l'apprentissage de l'informatique ?
- Dans quelle mesure les téléphones intelligents peuvent-ils aider les étudiants en informatique à progresser dans leur apprentissage ?
- Ces appareils peuvent-ils rendre l'apprentissage plus souple, plus facile ou plus efficace ?
- Quels sont les services ou types de services mobiles attendus par les étudiants ?

Notre plan de développement envisagé a alors pour but d'atteindre les objectifs suivants :

1. Identifier les apports et les potentiels des technologies mobiles pour l'apprentissage et l'enseignement. Cet objectif est guidé par l'idée selon laquelle les téléphones intelligents peuvent augmenter la motivation des étudiants et améliorer leurs compétences d'organisation, car ils créent et encouragent le sens des responsabilités et aident à soutenir l'apprentissage collaboratif et indépendant ;
2. Caractériser et catégoriser les applications types utilisées pour l'apprentissage mobile en général ;

3. Identifier les activités qui peuvent être prises en charge dans l'apprentissage mobile spécifiquement en informatique, soit comment utiliser des appareils mobiles et à quelles occasions ;
4. Exposer les défis à soulever pour construire et déployer les environnements de l'apprentissage mobile comme outils de support à l'apprentissage, spécifiquement en informatique et génie logiciel.
5. Proposer une architecture logicielle à promouvoir pour développer des applications mobiles d'enseignement spécifiquement en informatique.

Notre méthodologie de travail a consisté en quatre étapes :

La première étape a consisté à solliciter, par un sondage, l'avis d'un groupe d'étudiants pour avoir une idée générale sur la perception et l'utilisation du téléphone intelligent dans le cadre de l'apprentissage. La question qui a guidé notre intérêt est celle de savoir comment les étudiants utilisent leurs téléphones intelligents pour des fins éducatives. Autrement dit, qu'est-ce que les étudiants font avec leurs téléphones intelligents ? Ce sondage nous a permis d'orienter nos recherches dans la littérature.

La deuxième étape a été une revue de littérature visant à bien connaître l'utilisation de la technologie mobile dans l'enseignement, surtout en informatique, et à recenser les exemples existants.

La conception d'un modèle de l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel est la troisième étape. Elle a visé à identifier les facteurs et les potentiels qui influencent l'acceptation et l'utilisation des technologies mobiles d'apprentissage. Dans cette étape, nous analysons les avantages de l'apprentissage mobile dans l'enseignement en informatique et génie logiciel pour pouvoir l'envisager comme un outil de support.

La dernière étape a été une proposition d'une architecture multiplateforme pour la conception des outils de l'apprentissage mobile qui sont à la fois portables et personnalisables.

1.4 Organisation du mémoire

Le deuxième chapitre est une revue de littérature. Dans ce chapitre nous situons l'apprentissage mobile dans l'enseignement en général. Le chapitre trois présente l'apprentissage mobile dans l'enseignement en informatique et génie logiciel. Nous proposons alors un nouveau regard sur ce mode d'apprentissage. Il s'agit d'identifier les types

d'utilisation des applications mobiles dans le cadre de l'enseignement en informatique et d'étudier les caractéristiques de ces applications mobiles pour enfin proposer un modèle conceptuel de l'apprentissage mobile comme outil de support en informatique et génie logiciel. Le chapitre quatre montre différentes façons d'implémenter l'apprentissage mobile comme outil de support. Dans cette partie, nous analysons les modèles d'architecture logicielle mobile afin de proposer celui permettant d'exploiter efficacement l'apprentissage mobile. Enfin, le chapitre cinq conclut notre travail. Il mentionne nos contributions et donne des pistes pour des travaux futurs dans le cadre d'un apprentissage mobile efficace en informatique et génie logiciel.

Chapitre 2

État de l'art

Ce chapitre vise à élaborer un cadre théorique qui viendra soutenir nos questions de recherche. Pour apprêter ce cadre théorique, nous faisons ainsi un bref historique des études et recherches qui ont mené à l'édification de la théorie de l'apprentissage mobile. Cet historique vise à nous situer dans le contexte et à présenter l'apprentissage mobile comme un outil d'apprentissage en vogue. Nous commençons par une présentation de l'apprentissage mobile dans l'enseignement à distance. Nous présentons ensuite le potentiel de cet outil d'enseignement. Enfin, nous décrivons quelques technologies et applications mobiles d'apprentissage.

2.1 L'apprentissage mobile dans l'enseignement à distance

C'est dans les années 2000 que des idées sur l'apprentissage mobile ont commencé à être exprimées, poussées par les discussions sur le potentiel des nouvelles technologies mobiles personnelles qui pourraient améliorer le programme d'apprentissage continu [1].

Depuis ce temps, un certain nombre de tendances dominent la littérature scientifique. La première de ces tendances considère l'apprentissage mobile simplement comme une utilisation des dispositifs informatiques mobiles pour l'apprentissage [13]. D'après cette tendance, l'apprentissage mobile s'est développé sous la stimulation des technologies mobiles.

Antonia Bralić et al. s'inscrivent dans cette tendance [6]. Ils comprennent l'apprentissage mobile en termes de terminal utilisé dans le processus d'apprentissage. Pour eux,

l'apprentissage mobile signifie apprendre en utilisant des appareils portatifs qui permettent à l'apprenant de s'en servir en mouvement et dans divers environnements au lieu d'être dans un endroit spécifique tel qu'une salle de classe ou un bureau. Par cette définition, Antonia Bralić et al. ont conclu que l'apprentissage mobile est, par sa nature électronique, un sous-ensemble de l'apprentissage électronique¹, mais il se réfère plus en particulier aux appareils portatifs et aux technologies transportables.

Dans cette même tendance, certains scientifiques présentent l'apprentissage mobile comme une forme évoluée de l'apprentissage électronique qui prend avantage de l'Internet et des technologies mobiles pour offrir un environnement d'apprentissage. A titre d'exemple, Barzegar comprend l'apprentissage mobile dans le cadre de l'évolution de la façon dont nous apprenons [3]. Il explique qu'avec la nécessité de diffuser efficacement l'éducation, il s'est développé l'idée d'étendre l'espace éducatif au-delà des murs des salles de classe. L'évolution et l'émergence des technologies ont amélioré cette idée en introduisant la possibilité d'atteindre l'apprenant sur son propre ordinateur dans sa chambre ou son bureau. Désormais, parce que l'apprenant n'est plus lié à son poste de travail, le contenu d'apprentissage lui est rendu accessible sur son appareil portatif quel que soit l'endroit où il se trouve et même s'il est en mouvement [3].

Sous ce même angle d'idée, de nombreuses études ont été entreprises afin de comprendre comment le contenu de l'apprentissage électronique peut être adapté aux technologies mobiles. Ces efforts visent à intégrer les nouvelles opportunités des technologies mobiles dans l'apprentissage électronique de façon à enrichir l'expérience d'apprentissage [9, 23].

Une deuxième tendance soutient que l'apprentissage mobile ne veut pas seulement dire apprendre en se servant des appareils mobiles. Il concerne plutôt le processus d'apprendre et d'être capable de le faire avec succès à travers des nouveaux contextes, des nouveaux espaces d'apprentissage et des nouvelles situations en constante évolution [57]. Il s'agit de comprendre et de savoir comment utiliser notre mode de vie quotidienne comme espace d'apprentissage. Par conséquent, dans le cas où il faut l'énoncer explicitement, l'apprentissage mobile ne concerne pas principalement le terminal utilisé pour apprendre. Il concerne plus la possibilité d'apprendre de partout quel que soit le contexte.

De nombreux experts de cette tendance ont soutenu que définir ou décrire l'apprentissage mobile en termes de périphériques utilisés est très techno-centrique et laisse de côté les avantages pédagogiques et les caractéristiques de cette nouvelle façon d'apprendre

1. E-learning

[1, 33, 53]. En effet, l'apprentissage mobile n'est pas une simple fonction des appareils mobiles dans un spectre de l'apprentissage électronique, mais bien une partie utile d'un processus d'apprentissage de plus en plus riche et complexe [53, 59].

À partir de cette divergence d'idées nous comprenons que l'apprentissage mobile est un sujet de recherche très riche. Il englobe un large éventail de concepts, de théories, de conceptions, d'expériences et d'évaluations [2]. Bien que ce concept soit très récent, l'apprentissage mobile est en train d'envahir notre mode d'apprentissage. En invoquant le concept « m-learning », on le définit spontanément comme la possibilité d'apprendre en mouvement, sans être dans un lieu fixe ou déterminé, ou comme la possibilité de se servir des appareils mobiles pour apprendre [16]. Ce style d'apprentissage se caractérise par la mobilité, la personnalisation et la collaboration et favorise l'interaction entre les apprenants et les enseignants [12, 16]. L'apprentissage mobile peut se définir aussi comme un style d'apprentissage qui permet aux apprenants non seulement d'accéder à l'environnement et au contenu d'apprentissage à partir des terminaux mobiles, mais aussi de contribuer et de participer activement au processus de construction et de partage de connaissances [51].

Reconnaissant qu'avec l'apprentissage mobile la transmission de l'information ne soit plus l'unique prérogative de l'école, ce style d'apprentissage se veut être un système éducatif qui aide les étudiants à cultiver l'amour d'apprendre et à développer des compétences requises pour poursuivre un apprentissage informel² [56]. L'apprentissage mobile sert ainsi à « apprendre comment apprendre » et développer des aptitudes à acquérir des connaissances en dehors de l'apprentissage formel³ [56, 59].

Eu égard à ce qui précède, s'il nous faut définir ce style d'apprentissage de façon à prioriser la mobilité et la personnalisation au sens plus large, l'apprentissage mobile veut dire *toute sorte d'apprentissage qui se produit lorsque l'apprenant n'est pas dans un endroit fixe et prédéterminé. C'est un apprentissage qui se produit lorsque l'apprenant utilise les technologies mobiles pour accéder aux ressources d'apprentissage, pour collaborer, pour communiquer, et pour partager son expérience d'apprentissage indépendamment du temps et du contexte* [16, 24, 46].

Pour pouvoir profiter pleinement de l'apprentissage mobile, la compréhension de sa

2. L'apprentissage informel découle des activités de la vie quotidienne liées au travail, à la famille ou aux loisirs. Il n'est ni organisé ni structuré (en termes d'objectifs, de temps ou de ressources).

3. L'apprentissage formel est celui qui est dispensé dans un contexte organisé et structuré (par exemple dans un établissement d'enseignement ou de formation, ou sur le lieu de travail), et qui est explicitement désigné comme apprentissage (en termes d'objectifs, de temps ou de ressources).

nouveauté est capitale. Cela nécessite d'aller au-delà de la définition superficielle et d'examiner non seulement les capacités des appareils mobiles, mais aussi le contexte dans lequel l'apprenant accède au contenu d'apprentissage [56]. C'est un nouveau regard qui nécessite de se situer du côté de l'apprenant et de regarder la façon dont il apprend dans le contexte qui lui est propre.

Compris de cette façon, l'apprentissage mobile se distingue de l'apprentissage électronique. En général, l'apprentissage électronique se réfère à l'apprentissage et à l'enseignement grâce à des outils électroniques de toutes sortes. Nous pouvons définir l'apprentissage électronique comme étant un processus d'apprentissage à distance s'appuyant sur des ressources multimédias, qui permet à une ou plusieurs personnes d'apprendre à partir de leurs ordinateurs. Les supports multimédias utilisés peuvent combiner du texte, du graphisme, du son, de l'image, de l'animation et même de la vidéo [6].

Cette définition inclut l'apprentissage mobile dans l'apprentissage électronique. Mais en ce qui concerne l'apprentissage électronique, il peut y avoir un décalage dans le temps entre le processus d'apprentissage et son application. L'apprentissage électronique ne fournit pas une expérience juste à temps, mais offre un processus d'apprentissage plus structuré centré sur la rétention de l'information et non la pratique immédiate. Il permet d'acquérir des connaissances qui ne sont pas appliquées dans l'immédiat. Cependant, pour l'apprentissage mobile, l'action d'apprendre et l'application de ce qu'on apprend sont fortement liés et se produisent simultanément. Cet apprentissage naît d'un besoin à satisfaire dans l'immédiat, l'apprenant ne cherche pas à mémoriser l'information pour une mise en pratique future, mais il cherche de l'information pour satisfaire son besoin. Contrairement à l'apprentissage électronique, l'objectif de l'apprentissage mobile est d'appliquer immédiatement l'information reçue et l'écart entre l'apprentissage et la mise en pratique doit être très court. Le tableau 2.1 nous montre en résumé la différence entre le contexte de formation dans l'apprentissage électronique et dans l'apprentissage mobile. Il résume les traits particuliers de chacun de ces modes d'apprentissage.

En outre, l'apprentissage mobile est conçu pour fournir les informations nécessaires en temps réel. Il offre aux apprenants la possibilité de vérifier rapidement l'information pertinente et nécessaire pour que la tâche soit accomplie. L'apprentissage mobile rend plus simple le processus de trouver l'information adéquate et nécessaire pour une tâche spécifique ou pour répondre à un besoin spécifique. L'apprentissage électronique quant à lui, vise à fournir un contenu d'apprentissage entièrement structuré, mais pas nécessairement pour satisfaire les besoins immédiats. L'apprentissage mobile, loin de

Contexte	Apprentissage électronique	Apprentissage mobile
Plateforme de livraison	Ordinateur de bureau ou portable avec grand écran et en mode stationnaire	Appareil mobile avec petit écran portable et souvent en mouvement
Posture de l'apprenant	Assise	Assise, debout, en en mouvement ...
Distractions	Typiquement peu	Typiquement beaucoup
Temps disponible pour l'apprentissage	Plus de 15 minutes	Varié, mais en général de courts fragments ; moins de 15 minutes
Dispositifs d'entrée	Clavier, souris et/ou trackpad	Ecran tactile
Situation	N'importe quand, mais pas n'importe où. Souvent dans un bureau ou un lieu de travail	N'importe quand, n'importe où y compris dans le bus, au lit, dans un café ...

TABLE 2.1 – Contexte de formation dans l'apprentissage électronique et dans l'apprentissage mobile

concurrer l'apprentissage électronique, vient au contraire le compléter.

2.2 Potentiels de l'apprentissage mobile

La nouveauté de l'apprentissage mobile consiste à offrir la possibilité d'utiliser de nouvelles pratiques éducatives. Comme présenté dans la figure 2.1, l'apprentissage mobile se caractérise principalement par la communication, la participation, la collaboration et l'indépendance par rapport au lieu et au temps.

Développant ces caractéristiques, Geneviève Stanton et al. concluent que la conceptualisation de l'apprentissage mobile entraîne un certain nombre de qualificatifs tels que : « personnel », « opportuniste », « informel », « omniprésent », « situé », « privé » ... qu'on peut associer à ce style d'apprentissage [56]. Ils affirment que l'apprentissage mobile offre des possibilités éducatives que nous ne pouvons pas retrouver avec d'autres manières d'apprendre. L'apprentissage mobile permet à l'enseignant et aux étudiants de vivre des situations d'apprentissage diversifiées dans tous les contextes, mais aussi de vivre des situations d'apprentissage personnel [56]. L'apprentissage mobile est un apprentissage personnel parce que ses outils sont principalement destinés à un usage individuel et personnel. Cet apprentissage favorise ainsi un espace qui peut être adapté au cheminement individuel de chaque étudiant durant sa recherche

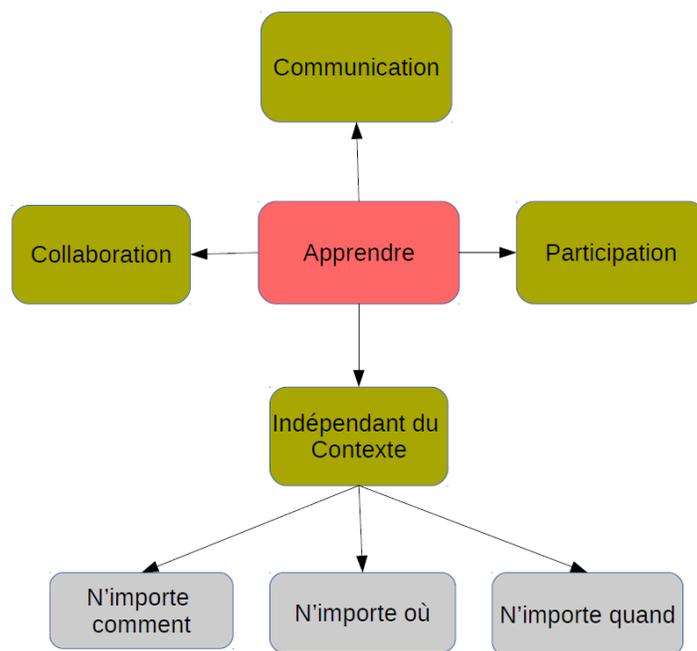


FIGURE 2.1 – Concepts clefs qui définissent l'apprentissage mobile

personnelle [56].

Aussi, comme mentionné plus haut, l'apprentissage mobile implique la collaboration et l'interaction. Selon Uvasara Dissanayake et al., il est communément admis qu'une bonne interaction entre les professeurs et les étudiants peut avoir des effets positifs sur les résultats d'apprentissage [11]. De bons résultats académiques sont rapportés dans des présentations qui valorisent l'interaction entre le professeur et les étudiants, par opposition aux conférences classiques où les étudiants sont simplement des auditeurs.

Par ailleurs, on s'oriente maintenant vers des applications mobiles pouvant être utilisées pour soutenir les apprenants. Par exemple, *iTunes U* offre aux enseignants de tous les niveaux un moyen simple de concevoir et de distribuer du contenu complet sous forme d'audio, de vidéos, de livres ainsi que d'autres types de contenus. La technologie infonuagique⁴ permet aux étudiants de se connecter à diverses applications mobiles afin d'accéder à leurs tâches scolaires, créant ainsi un cadre de travail personnalisé. Aussi, on trouve un bon nombre d'applications de collaboration et d'interaction entre étudiants. Dans ce contexte, l'apprentissage mobile devient de plus en plus reconnu comme un moyen efficace d'apprentissage, avec un nombre croissant d'utilisateurs et des services éducatifs.

4. Cloud technology

Parlant de la collaboration et de l'interaction, nous pouvons citer les réseaux sociaux. C'est une perception générale que ces réseaux sociaux soient des plateformes de communication sociale sans relation avec le monde académique. Mais, selon Loo Hanley et al. les réseaux sociaux sont également des outils d'un grand potentiel éducatif capables de créer un environnement d'apprentissage où l'apprenant se sent impliqué dans la création et le partage d'informations [16]. Utilisant *Facebook* comme outil d'apprentissage mobile, ces auteurs soulignent que lorsque les étudiants utilisent des groupes de réseaux sociaux comme les groupes de *Facebook*, cet environnement purement informel leur permet de créer des liens solides de collaboration formative entre eux [16]. La collaboration sociale devient donc un élément important pour l'apprentissage parce qu'elle crée un environnement d'échange d'informations.

Aussi, les réseaux sociaux ont le potentiel de soutenir un apprentissage authentique. À titre d'exemple, *Facebook* est un outil interactif qui permet à l'apprenant de créer son propre contenu, par exemple en publiant un commentaire, une idée ou une opinion sur les messages des autres, mais aussi en partageant des publications.

Compris dans ce sens, la collaboration met en évidence l'interaction sociale dans tout processus d'apprentissage. Favorisant un contexte collaboratif, l'apprentissage mobile donne la possibilité de codécouvrir dans l'apprentissage. L'apprenant se retrouve dans un univers où il est capable de coopérer dans la composition et la diffusion de l'information [16]. Avec les réseaux sociaux, non seulement les étudiants apprennent et collaborent entre eux, mais ils intègrent également leur vie quotidienne dans le processus d'apprentissage. Ces réseaux sociaux créent donc un environnement d'apprentissage informel dans lequel les jeux, les promenades, les échanges d'amitié, etc. font partie de l'apprentissage [16].

Sous ce même angle d'idée, Yeongjun Kim et al. ont proposé l'amélioration de l'apprentissage et de l'engagement des étudiants à travers des questions posées sur *Twitter* [30]. Selon leurs constatations, l'utilisation de *Twitter* dans la salle de classe peut empêcher les étudiants à se distraire avec leurs téléphones intelligents. Elle peut permettre aussi au professeur de recevoir des commentaires des étudiants et d'évaluer leur compréhension de manière spontanée et informelle [30].

L'application *Twitter* peut aussi jouer d'autres rôles dans la communauté éducative. Utilisé à des fins professionnelles, ce réseau social permet de faire une pédagogie de qualité en s'abonnant aux publications des *EduTwitter* qui partagent quotidiennement leurs trouvailles. Également, *Twitter* permet de partager des recherches ou des

publications, de collaborer dans différents projets, et de participer à des concours de *twittérature* (ensemble des textes littéraires publiés dans *Twitter*) [11].

Poursuivant ces idées de partage et de collaboration, l'utilisation des systèmes de réponse dans les salles de classe pour créer une interaction entre le professeur et son public est une autre façon d'introduire l'apprentissage mobile dans l'éducation. Ces systèmes permettent aux professeurs d'avoir l'opinion de l'auditoire et d'établir un mécanisme informel d'évaluation et de participation. Manuel Caeiro et al. ont développé un système de participation de l'auditoire (Audience Response System ARS). Grâce à cet outil, le professeur peut soumettre une série des questions à ses étudiants et recevoir instantanément les réponses. Cette pratique a augmenté le taux de participation des étudiants parce que les réponses sont anonymes et que les étudiants peuvent s'exprimer sans se sentir gênés de donner de mauvaises réponses [7].

Par ailleurs, plusieurs outils sociaux fournissent des opportunités importantes pour l'apprentissage. Dans ce contexte, l'apprentissage mobile offre une expérience d'apprentissage interactif, permettant à l'apprenant d'exprimer ses idées, ses opinions, et ses observations dans des groupes de discussion [27]. A titre d'exemple, deux outils distinctifs ont été développés par Virginia Gutiérrez Rodríguez et al. (M-Learning Project et M-EANor). Le premier outil est un « cliqueur » utilisé sur le téléphone intelligent avec lequel les étudiants peuvent donner leur opinion, leur évaluation ou n'importe quelle idée sur un sujet de manière anonyme sous forme d'enquêtes en classe. Le second est une application mobile qui offre aux étudiants une efficacité et une motivation dans la participation, l'auto-évaluation. Mais aussi cet outil peut être utilisé par les enseignant comme instrument de suivi de progression et de performance des étudiants [52].

A travers ces outils, les auteurs soulignent les avantages des appareils mobiles dans l'apprentissage et présentent l'apprentissage mobile comme un outil de soutien. Ces outils permettent aux apprenants d'exprimer leurs opinions, d'évaluer leurs travaux, mais aussi ceux de leurs pairs et de partager leurs connaissances anonymement. Ces outils aident également les professeurs à faire un bon suivi sur le progrès de leurs étudiants tout en stimulant leur motivation et leur engagement [52].

En outre, afin d'exploiter les potentiels du téléphone intelligent, Chee Ken Nee et al. ont conçu l'application *iMLearning*, une application d'apprentissage. Cette application offre un environnement d'affichage du contenu de façon à favoriser une bonne présentation de l'information. Elle est pour les étudiants un outil à travers lequel ils peuvent interagir et adapter leurs styles d'apprentissage à leurs besoins [42].

Ortiz et al. s'intéressent, quant à eux, à l'immense propagation des appareils mobiles sur les campus des universités. Ils soulignent que ces appareils ont le pouvoir de transformer l'enseignement supérieur en un contexte particulièrement approprié où l'apprentissage est au cœur des étudiants. Pour y arriver, ces auteurs exigent une bonne formation et une documentation pratique sur ce nouveau style d'apprentissage, surtout en informatique [43].

Avec l'idée d'introduire cette nouvelle façon d'apprendre dans un cours de programmation, ils ont développé une application avec laquelle les étudiants pouvaient faire des exercices de programmation sur leurs téléphones intelligents et obtenir une évaluation automatique et immédiate. Les résultats ont montré que, bien que l'application ait été conçue pour être utilisée sur les appareils mobiles, la plupart des étudiants préféraient utiliser l'application à partir des ordinateurs portables. D'après les sondages, les étudiants affirment qu'il est plus confortable de faire leurs exercices sur un ordinateur plutôt qu'avec des appareils mobiles [43].

2.3 Technologies et applications mobiles d'apprentissage

L'impact des appareils et applications mobiles dans les environnements d'apprentissage formels et informels est de plus en plus significatif. Le téléphone intelligent est, de nos jours, l'outil le plus utilisé. Le principal avantage des technologies et applications mobiles en enseignement réside dans la transportabilité. Contrairement aux ordinateurs, y compris les ordinateurs portables, les outils des technologies mobiles sont très légers. Cette transportabilité permet aux apprenants de poursuivre leur formation à distance et en mouvement de manière synchrone ou asynchrone partout où ils se retrouvent.

Aussi, la connectivité figure parmi les grands avantages des technologies et applications mobiles. En effet, contrairement à la grande majorité des ordinateurs facilement transportables, les téléphones intelligents peuvent être connectés continuellement à l'Internet de deux façons. La connexion par Wifi est la plus répandue pour la majorité des appareils [66]. En plus de la connexion par Wifi, les téléphones intelligents ont aussi la connexion aux réseaux cellulaires. Cette particularité représente un avantage de plus pour la formation à distance de manière synchrone ou asynchrone partout où la connexion par Wifi n'est pas accessible.

Outre les avantages offerts par la transportabilité et la connectivité, les téléphones in-

telligents se distinguent particulièrement des autres ordinateurs transportables par la production et la consommation du contenu multimédia. Les téléphones ont une caméra et un microphone intégrés qui peuvent être utilisés dans tous les contextes. Ils représentent alors des outils parfaits pour la production d'un contenu varié ; mais aussi des outils efficaces pour consommation du contenu multimédia grâce à leur mode d'affichage simple. Comme la figure 2.2 le montre, le téléphone intelligent permet la production et la consommation d'un contenu éducatif varié, clair et concis.

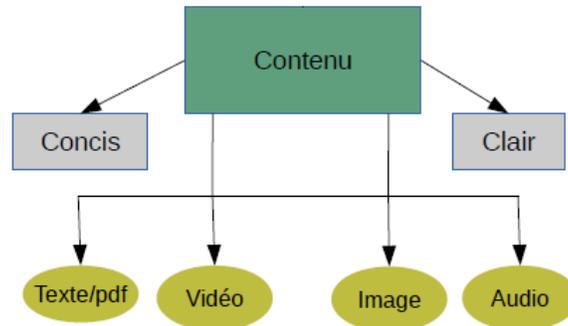


FIGURE 2.2 – Les types et les caractéristiques du contenu de l'apprentissage mobile

Parlant des applications mobiles, il existe un très grand nombre d'applications spécialisées et destinées à l'affichage du contenu. Plusieurs de celles-ci sont utilisées pour organiser et planifier un travail, pour créer du contenu, pour gérer des présentations ou autre forme d'affichage, ou encore pour accéder au contenu. En ce qui concerne l'organisation et la planification du travail académique, on peut citer *Todo*, *Evernote*, *ToDoList*, *myHomework*, *Cogito*, et beaucoup d'autres qui sont des systèmes d'agenda conçus pour organiser des tâches à faire selon leurs priorités et échéances. En termes d'acquisition des nouvelles connaissances on peut citer plusieurs applications comme *Coursera*, *Udemy*, *Khan Academy*, *Lynda*, *photomath*, *Babbel*, *Flashcards* qui sont des applications qui favorisent l'apprentissage informel et instantané [11, 16, 30].

Plusieurs applications telles qu' *Edmodo* s'apparentent à un réseau social pour un groupe d'étudiants. Elles permettent à l'enseignant d'afficher des messages à la classe, de diffuser des documents, d'envoyer des devoirs et de donner une rétroaction aux étudiants. L'application *Blackbord*, quant à elle, correspond plus à une sorte de version mobile du site Web de l'université. Ce type d'application joue un rôle important pour établir le contact avec les étudiants et partager les documents nécessaires pour leur vie éducative [16].

Dans le même ordre d'idées, l'application *Socrative* permet de créer et de faire passer

des jeux-questionnaires selon plusieurs modalités différentes. Les participants peuvent répondre au questionnaire tous en même temps, ou chacun à son rythme. Il peut alors être intéressant de confier la création du questionnaire aux étudiants eux-même pour leur permettre de revoir leur cours en composant les questions. C'est aussi une occasion de les engager et de les faire participer dans la création du contenu éducatif. En répondant aux questions, les étudiants sont dans une ambiance informelle et peuvent donner leur réponse sans préjugé ni complexe de manière anonyme. Ils peuvent aussi se servir de leurs téléphones intelligents pour obtenir le résultat de statistiques sous forme de votes [61]. Enfin, les technologies mobiles permettent également de suivre des formations à distance grâce aux applications de visioconférence. Ces applications sont nombreuses et pleinement fonctionnelles sur les téléphones intelligents.

2.4 Conclusion

Ce chapitre a été consacré essentiellement à la présentation de l'apprentissage mobile, plus précisément dans le cadre de l'enseignement à distance. Nous avons mis l'accent sur le potentiel de ce nouveau style d'apprentissage. Nous avons montré que l'apprentissage mobile améliore l'implication des étudiants dans leur processus d'apprentissage et développe des aptitudes de découvrir par soi-même dans un environnement de collaboration et d'échange. Nous avons aussi présenté les différents types d'outils qui existent actuellement pour faciliter cet apprentissage mobile. Dans cette partie, nous avons décrit le potentiel des applications mobiles en termes de transportabilité, de connectivité et la manière de faciliter l'accès à une variété de contenu d'apprentissage.

Bien que la revue de littérature démontre les efforts évidents faits dans l'amélioration de l'apprentissage mobile, nous pouvons dire que le rôle de l'apprentissage mobile demeure encore à expliciter. Il existe encore des points d'attention à éclaircir, surtout en ce qui concerne les limites que présentent les appareils mobiles. Dans le cadre de cette étude, il est important de dresser certaines frontières. La première frontière est que, dans ce travail, nous ne considérons que les téléphones intelligents. En effet, bien que les tablettes soient considérées comme des appareils mobiles, elles ne sont pas incluses dans notre champ de recherche puisqu'elles n'imposent pas les mêmes contraintes que nous pouvons rencontrer avec les téléphones intelligents. Les tablettes sont des appareils mobiles qui ne sont pas aussi personnels et mobiles que les téléphones intelligents. Les contextes dans lesquels les apprenants sont susceptibles d'utiliser une tablette plutôt qu'un téléphone intelligent peuvent être très différents.

Par ailleurs, la taille d'écran des tablettes est plus proche de celle des ordinateurs et on peut facilement les utiliser avec un clavier. Par opposition, l'utilisation du téléphone intelligent se fait la plupart de temps avec une main. Par exemple, le téléphone est dans la main et le pouce de cette main fait la navigation et l'interaction. En outre, bien que les tablettes puissent utiliser des forfaits de données mobiles pour accéder au contenu, il leur manque la triple connectivité des téléphones intelligents (réseau sans fil, forfait de données et voix et textos). Ces derniers offrent plus de facilités et de possibilités d'accès aux ressources pour un apprentissage ubiquitaire.

Notre regard se dirige donc exclusivement vers les téléphones intelligents parce que ces appareils transportables, contrairement aux tablettes et ordinateurs portables, ne sont pas seulement transportés d'un endroit à un autre, mais peuvent être utilisés pendant le déplacement. Ainsi ils représentent la vision d'un apprentissage qui se fait n'importe où, n'importe quand et n'importe comment. La deuxième frontière est que nous limiterons notre conceptualisation à l'enseignement à distance dans le domaine de l'informatique et du génie logiciel. Ainsi, le troisième chapitre est consacré à la conception d'un modèle de l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel.

Chapitre 3

Modèle d'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel

Dans ce chapitre, nous présentons et étudions l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel. Cette étude nous permet de comprendre les caractéristiques de l'apprentissage mobile spécifiquement en informatique et en génie logiciel dans le but de concevoir un modèle conceptuel de l'apprentissage mobile pour ce domaine. Pour cela, nous commençons par la présentation d'un modèle général de l'apprentissage mobile. Nous décrivons ensuite les caractéristiques fondamentales des applications mobiles de l'apprentissage mobile. Nous présentons alors l'apprentissage mobile comme un apprentissage au contenu varié. Puis nous décrivons différents types d'outils de l'apprentissage mobile qui peuvent être utilisés en informatique et génie logiciel. Enfin, nous proposons un modèle conceptuel de l'apprentissage mobile comme outil de support en informatique et génie logiciel.

3.1 Vue générale d'un modèle d'apprentissage mobile

L'apprentissage mobile constitue un véritable changement dans notre société. De manière brève, nous pouvons le présenter comme un apprentissage « juste à temps ». La figure 3.1 schématise globalement les éléments principaux de ce mode d'apprentissage. Comme précisé dans le chapitre 2 (section 2.1), l'apprentissage mobile est un style d'apprentissage à distance mais différent du e-learning. La différence est que le e-learning vise à apprendre des compétences spécifiques ou des connaissances approfondies sur un domaine donné dans le but de comprendre et de retenir. L'apprentissage mobile, quant à lui, est utilisé pour soutenir un processus d'apprentissage en cours où l'appre-

nant a besoin d'une information spécifique et pratique pour avancer dans la réalisation de sa tâche. L'action d'apprendre est motivée par un besoin à satisfaire dans l'immédiat. Aussi, l'apprentissage mobile se sert des applications mobiles pour accéder à son contenu et permettre à l'apprenant d'interagir avec ce contenu. Ce contenu peut être formel ou informel¹, incluant entre autres du matériel académique, de l'information et des notifications de soutien dans le cheminement académique.

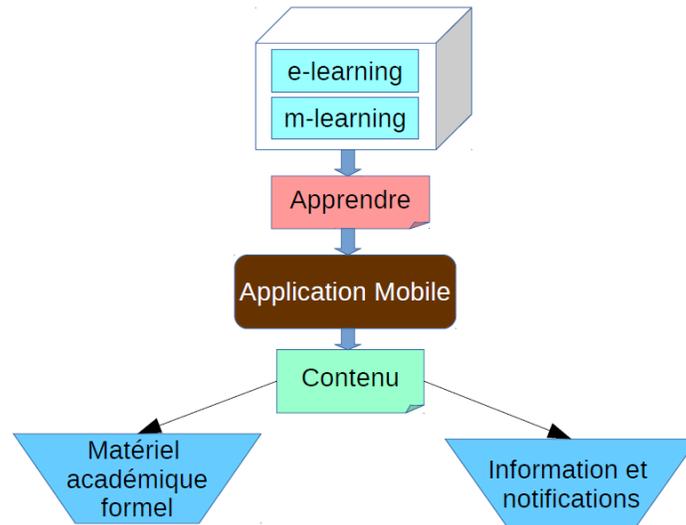


FIGURE 3.1 – Présentation globale des concepts de l'apprentissage mobile

3.2 Caractéristiques des applications mobiles de l'apprentissage mobile

Comme nous l'avons souligné dans l'état de l'art, l'apprentissage mobile n'est pas seulement un mode d'apprentissage à l'aide des appareils mobiles. Il est aussi et surtout une occasion d'apprendre n'importe où, n'importe comment et n'importe quand. Pour qu'il soit une occasion d'un tel apprentissage, certaines caractéristiques fondamentales sont nécessaires. La figure 3.2 nous présente la vision globale des caractéristiques devant être soutenues par les applications mobiles pour offrir les meilleures occasions d'apprentissage dans l'apprentissage mobile.

1. Voir l'apprentissage formel et l'apprentissage informel défini dans 2.1

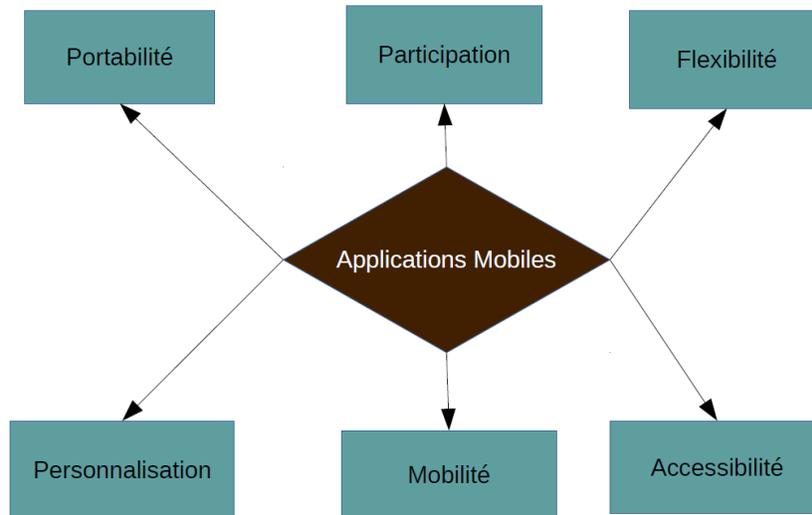


FIGURE 3.2 – Présentation des caractéristiques sur lesquelles repose l’apprentissage mobile comme outil de support

3.2.1 Mobilité

Au fur et à mesure que les infrastructures de communication s’améliorent, la transmission des données devient de plus en plus disponible et abordable. Ce développement technologique crée un espace permettant de consommer une pléthore de données et services peu importe le contexte dans lequel on se trouve. Cet apport augmente les opportunités d’auto-formation dans des environnements flexibles [38].

La caractéristique de mobilité permet l’accès à l’information n’importe quand, n’importe comment et à partir de n’importe quel emplacement. La mobilité offre des opportunités pour planifier et réaliser des activités de manière omniprésente. Comprendre cette caractéristique d’apprentissage revient à considérer les différents changements entre les lieux, les moments, les contextes et les interactions sociales qui peuvent advenir dans le cursus d’apprentissage d’un apprenant [10]. Avec la mobilité, l’apprentissage mobile devient un environnement où le contenu d’apprentissage est disponible lorsqu’il est le plus attendu. Un apprentissage est dit mobile lorsqu’il s’étend à toutes les opportunités dans un environnement formel ou informel.

La mobilité crée une relation entre l’apprentissage et le contexte. Elle offre à l’apprenant le moyen direct, rapide et instantané d’interagir, d’échanger des données et de collaborer sans se soucier de sa situation spatio-temporelle. Elle favorise la transition et le suivi des activités d’apprentissage d’un contexte à un autre.

3.2.2 Portabilité

Alors que le domaine de la technologie mobile continue de s'étendre, la diversité des plateformes² devient de plus en plus un problème critique de développement d'applications mobiles. Dans cette réalité, la portabilité se retrouve au centre de la production des applications mobiles. En termes de définition, une application mobile est portable lorsqu'une même production peut être déployée, installée, et utilisée sur différentes plateformes sans avoir à développer pour chacune d'elles [10]. La caractéristique de portabilité désigne la possibilité pour une application d'être compatible avec plusieurs plateformes. Dans le cadre de l'apprentissage mobile, la portabilité permet d'élargir l'environnement d'apprentissage avec la production d'applications mobiles d'apprentissage disponibles sur plusieurs plateformes. Conscient de l'ampleur que prend la technologie mobile, cette caractéristique mérite une considération importante. Elle permet de réduire les coûts et d'augmenter la vitesse de développement des applications mobiles.

3.2.3 Personnalisation

La responsabilité de décider comment, quand et quoi apprendre n'est plus un apanage des personnes choisies comme enseignants. Avec l'apprentissage mobile, les apprenants peuvent plus facilement décider de ce qu'ils veulent apprendre, quand, où et comment ils veulent le faire. Cette façon de faire rend l'apprenant responsable de ce qu'il doit savoir et lui permet d'évaluer son efficacité à l'égard de ses propres tâches.

La personnalisation de l'apprentissage consiste à offrir à l'apprenant un espace où il prend lui-même son apprentissage en main. Elle consiste à encourager l'apprenant à chercher le contenu, c'est-à-dire lui « apprendre comment apprendre » [15, 59]. Dans cet espace, l'apprenant est le seul capable d'identifier ses besoins et capable de trouver des possibilités de creuser pour les satisfaire afin de réaliser ses tâches.

Aussi, il est à noter que dans un environnement d'apprentissage mobile, l'interaction avec les outils d'apprentissage est un exercice qui doit se faire sur des interfaces capables de s'adapter au style et au besoin de l'apprenant. Cela permet de garantir un climat d'apprentissage convivial et personnel [18, 62]. La personnalisation dans l'apprentissage mobile fait référence au degré d'adaptation d'une application mobile à la situation de l'apprenant. Autrement dit, un système est considéré personnalisable s'il peut extraire, interpréter et utiliser l'information contextuelle et adapter son comportement et ses fonctionnalités au contexte et caractéristiques d'utilisation actuelle [15, 27].

2. Un environnement qui permet la gestion et l'utilisation des applications/logiciels

La personnalisation implique la possibilité de configurer les fonctionnalités de l'application mobile de façon à répondre plus facilement aux besoins de l'apprenant. De la sorte, pour concevoir un outil personnalisable il faut considérer l'information contextuelle de l'apprenant pour appliquer le type d'adaptation en fonction de cette information contextuelle [27]. Cela signifie l'ajustement spécifique du contenu en fonction des besoins de l'apprenant de façon à lui fournir des services plus personnalisés. Le contexte d'utilisation peut être composé de plusieurs attributs. On peut citer le temps, l'emplacement, la météo, etc. [57].

La personnalisation permet à l'apprentissage mobile d'être un espace où l'apprentissage se produit quand et où l'étudiant est disposé à apprendre. Il se fait par exemple quand il reçoit des notifications, pendant un temps libre entre les cours, en attendant un ami, avant un examen, à la maison, à l'université, en déplacement, au restaurant ... L'apprenant peut, non seulement utiliser le terminal mobile pour accéder à une variété d'information, mais également il peut personnaliser son processus d'apprentissage selon sa disponibilité et les circonstances qui l'entourent [10].

3.2.4 Accessibilité

Pour le développement d'une application mobile, la question d'accessibilité doit être prise en compte tout au long des travaux. L'accessibilité est la capacité à rendre l'application plus intuitive et conviviale à l'utilisateur. Sachant que l'utilisation des applications mobiles se fait intuitivement, c'est-à-dire sans formation préalable, la caractéristique d'accessibilité joue un rôle important dans la conception des applications mobiles. Elle permet de produire des applications faciles à utiliser. Rendre une application mobile accessible signifie analyser les détails de la façon dont les utilisateurs peuvent interagir avec l'application et fournir des instructions appropriées en fonction de leurs interactions [10]. Ceci exige la conception d'interfaces simples, l'utilisation des étiquettes descriptives qui expliquent la fonction de chaque élément interactif, etc.

3.2.5 Flexibilité

Nous vivons dans une société où l'information circule à chaque instant et où la demande en matière d'application mobile évolue très rapidement. Pour être à jour, il faut y accéder constamment. La flexibilité est la gestion de tout ce qui peut arriver pendant l'utilisation de l'application mobile.

Une bonne application mobile d'apprentissage doit être flexible, c'est-à-dire opération-

nelle dans différents contextes et situations rapidement et constamment changeants. La flexibilité est la capacité pour une application de tolérer les interférences imprévues qui peuvent interrompre l'activité [18, 62]. Une application mobile d'apprentissage devrait donc être structurée de façon à permettre à l'utilisateur de suspendre brusquement son activité, et de pouvoir la reprendre quand il veut après une période de temps [11].

3.2.6 Participation

Nous sommes actuellement confrontés à plusieurs formes de réseaux sociaux qui stimulent le développement d'une culture participative dans tout ce que nous faisons. Dans le domaine de l'éducation, ces réseaux sociaux ont engendré une culture d'apprentissage en groupe où les membres se sentent socialement connectés entre eux.

Il faut comprendre que l'apprentissage est souvent influencé par notre environnement et par les situations particulières auxquelles nous sommes confrontés. Aussi, selon Holzinger et al., le paradigme « d'apprentissage situé » maintient que l'apprentissage est non seulement l'acquisition de connaissance par des individus, mais également un processus de participation sociale [20].

Dans ce sens, McLoughlin et Lee affirment que les applications mobiles d'apprentissage sont des outils qui créent un espace d'affinité éducative dans lequel les apprenants acquièrent des aptitudes sociales et communicatives dans leur processus d'apprentissage [39]. Dans cet espace, plusieurs jeunes apprenants développent des qualités d'apprentissage informel, expressif, et créatif qui font d'eux des chercheurs passionnés des nouvelles connaissances.

La participation est donc un apport important des applications mobiles de l'apprentissage mobile. Alors que, de façon générale, l'apprentissage doit venir d'un expert, la participation dans l'apprentissage mobile accorde à l'apprenant la possibilité de générer des idées dans un style d'apprentissage plus ouvert, collaboratif et encourageant.

Aussi, s'il faut citer les avantages des réseaux sociaux dans l'éducation, le partage de données et informations figure parmi les premiers. Avec les réseaux sociaux, les experts comme les novices peuvent rendre leur travail disponible au large public, par exemple par le biais de leur blogue, Facebook, Twitter . . . Plusieurs techniques de sélection, de sauvegarde et de partage des données en ligne sont aussi disponibles pour permettre de construire des collections d'information de façon à organiser ses recherches, à collaborer et à partager ses découvertes [39].

Avec le développement rapide de l'Internet, la vulgarisation des téléphones intelligents et la conception des applications mobiles d'apprentissage, l'apprentissage mobile devient un environnement de collaboration et d'interaction où l'apprenant est capable de coopérer dans la recherche de la solution à un problème donné. Ainsi, la participation offre aux applications mobiles la possibilité de supporter plusieurs formes de collaboration par lesquelles les étudiants passent d'un travail individuel à une solution commune dans un groupe d'apprentissage. Cela favorise le partage de l'information et de l'expérience d'apprentissage de manière directe dans un environnement à la fois formel et informel.

3.3 Un apprentissage au contenu varié

La technologie mobile est l'un des champs les plus à vogue dans notre société actuelle. La très grande majorité des étudiants possède un téléphone intelligent disposant d'une connexion à l'Internet. L'utilisation des applications mobiles est rendue plus facile, permettant l'échange d'idées dans une atmosphère conviviale.

À travers les avancées tant technologiques qu'éducatives, il est indispensable de bien comprendre l'apprentissage mobile pour avoir la meilleure combinaison entre les technologies émergentes et la transmission du contenu à l'apprenant. Nous avons présenté l'apprentissage mobile comme un mode d'apprentissage servi par des applications mobiles pour accéder au contenu. Aussi, tel qu'illustré dans la figure 3.3, l'apprentissage mobile permet l'accès à un contenu varié, incluant du texte, des vidéos, des images, des audios, etc. Fournir un contenu utile et adapté aux besoins de l'apprenant en temps opportun est un aspect important pour la conception du matériel de l'apprentissage mobile. Un bon contenu mobile doit être condensé, dissociable, et clair. Tel que l'affirme Molnar et al., le contenu de l'apprentissage mobile devrait être sous le format d'interaction et d'animation [41]. Pour un meilleur apprentissage, l'animation apporte un style ludique et capable de créer un environnement d'apprentissage à la fois formatif, amusant et récréatif.

Dans l'apprentissage mobile, les meilleures applications sont celles qui visent à satisfaire un besoin immédiat dans la facilité et la simplicité. Contrairement aux autres formes d'apprentissage où l'objectif est de retenir de l'information, l'apprentissage mobile est utilisé pour soutenir un processus d'apprentissage en cours en fournissant à l'apprenant de l'information concise et nécessaire dans l'immédiat. Le contenu de l'apprentissage mobile perd son sens s'il est constitué de longs textes de lecture sur un petit écran.

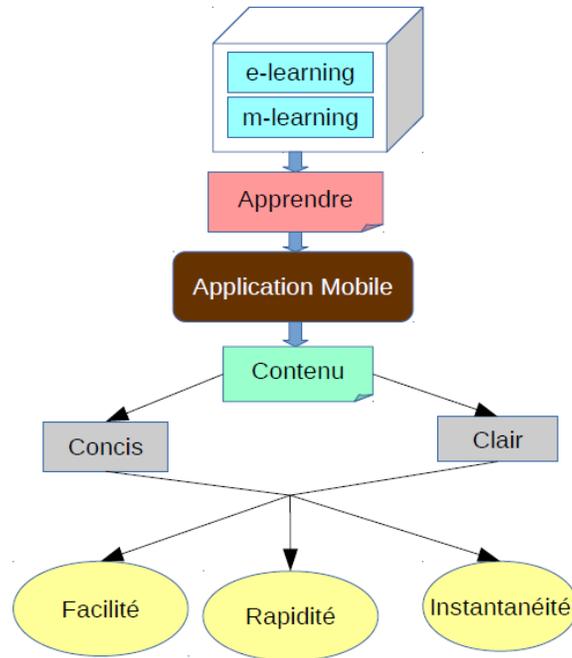


FIGURE 3.3 – L'apprentissage mobile offre un contenu varié

Il perd également son efficacité s'il est consulté pour satisfaire un besoin situé dans le futur lointain. L'apprentissage mobile inclut de multiples descriptions, des outils de simulation et des scénarios interactifs de façon à faciliter la mise en pratique immédiate [41].

Comme nous l'avons rappelé plus haut, parmi les caractéristiques de l'apprentissage mobile, les modules ne durent que quelques minutes de façon à permettre à l'apprenant d'accéder facilement à l'information et de la consommer très rapidement. L'apprentissage mobile doit permettre l'accès facile et rapide à l'information et le partage rapide des connaissances, et de l'expérience avec d'autres utilisateurs n'importe quand et dans n'importe quel endroit.

Aussi, dans un environnement en perpétuelle mutation où l'information change constamment, se maintenir informé est un exercice à faire à chaque instant. L'apport de l'apprentissage mobile réside dans la ponctualité. Il est un apprentissage juste à temps, juste assez pour ce que l'on veut faire dans l'immédiat. En d'autres termes, l'apprentissage mobile permet d'accéder au contenu qui doit intervenir dans des situations où l'apprenant cherche la solution à un problème en cours.

3.4 L'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel

Trouver des moyens d'améliorer l'enseignement en informatique en se servant des téléphones intelligents est encore un domaine ouvert. En effet, bien que de nombreuses solutions soient disponibles pour permettre aux étudiants d'apprendre, par exemple la programmation sur des téléphones intelligents, la prolifération de la technologie mobile vient avec plusieurs défis de conception et de programmation des applications mobiles.

Ainsi, Tillmann et al. suggèrent que l'apprentissage de la programmation des applications mobiles se fasse directement sur un téléphone intelligent, sans avoir besoin d'un ordinateur. Pour cela, ils proposent un nouvel environnement de programmation mobile développé pour cette fin. Cette application, « TouchDevelop » est présentée dans la figure 3.4. Cette figure illustre spécifiquement les potentialités du téléphone intelligent en programmation. L'application offre un environnement et un langage de programmation typé, structuré et conçu pour utiliser l'écran tactile comme mode d'entrée pour écrire du code. Son langage est organisé de façon à faciliter l'auto-complétion et permettre au développeur de choisir parmi les instructions et expressions déjà formulées [60]. Ces auteurs concluent que la programmation des applications mobiles sur téléphone intelligent permet une auto-évaluation en temps réel pour les étudiants. Elle offre la possibilité de voir concrètement le résultat de leur code, mais aussi de partager leur travail de manière instantanée.

Par ailleurs, de nouvelles possibilités de programmation sur téléphone intelligent s'ouvrent avec le développement des technologies de l'informatique en nuage ou infonuagique³. En effet, cette technologie permet d'utiliser des applications hébergées et exécutées sur un serveur distant. Les utilisateurs peuvent réaliser leurs tâches localement et accéder aux données conservées sur un serveur distant plutôt que sur des appareils individuels. L'infonuagique permet en l'occurrence de concevoir des éditeurs de code sur téléphone intelligent avec des possibilités de compilation moyennant des applications hébergées sur un serveur distant [14]. L'accès au service infonuagique est aussi possible grâce à l'amélioration des navigateurs Web mobiles disponibles sur la plupart des téléphones intelligents récents.

Cependant, malgré les efforts réalisés dans ce sens, plusieurs défis émergent. Le plus grand d'entre eux est de transformer ces téléphones intelligents en environnement de

3. Cloud computing

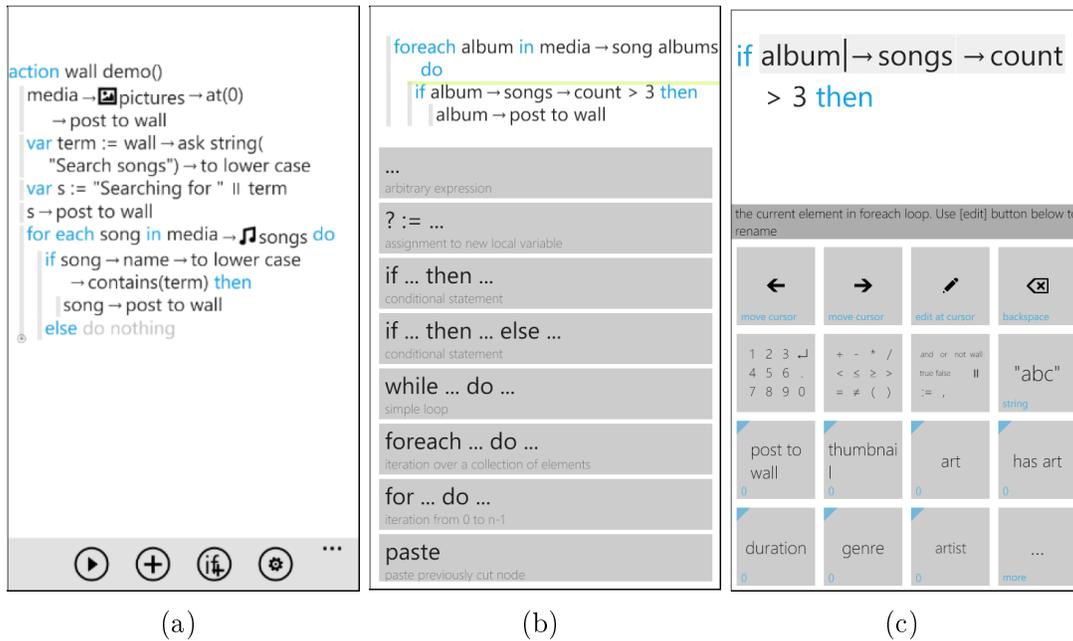


FIGURE 3.4 – Exemples d'utilisation de l'application "TouchDevelop" proposée par Tillmann et al.

programmation. Il faut noter qu'un écosystème de programmation est souvent complexe, incluant l'affichage simultané de nombreuses informations pour visualiser tout le processus de programmation [32]. Cet écosystème doit être complet de façon à permettre au développeur de contrôler et gérer localement le résultat de son code. Aussi, certaines pratiques telles que la programmation en équipe, le partage d'écrans et l'assistance à distance sont difficiles à envisager sur un téléphone intelligent.

Il est vrai que les téléphones intelligents supportent de nombreuses fonctionnalités et peuvent maintenant offrir une expérience d'apprentissage remarquable. Mais dans le contexte de l'apprentissage de l'informatique, certaines contraintes s'imposent. En informatique, surtout en programmation, les méthodes d'entrée et de sortie sont importantes. Le clavier et l'écran sont essentiels pour la programmation. L'utilisation d'un poste de travail offre la possibilité de configuration des multiples écrans et l'utilisation d'un clavier physique que les téléphones intelligents ne peuvent pas offrir [26, 32].

À titre d'illustration typique, un étudiant peut travailler sur le développement d'un programme, alors que son courrier électronique et sa boîte de discussion en groupe sont en cours d'exécution en arrière-plan ou sur un deuxième écran. Pour passer de l'un à l'autre sur un téléphone intelligent, il faut changer de fenêtres actives et se détourner de son travail. En utilisant plusieurs écrans, plusieurs tâches peuvent être

affichées simultanément, il n’y a pas de perte de concentration. Ling et al. ont d’ailleurs montré qu’une configuration matérielle à écran multiple augmente la productivité et la satisfaction dans l’apprentissage [32].

En outre, les cours en informatique impliquent des contraintes particulières qui n’existent pas dans des cours d’autres disciplines. L’une des nombreuses caractéristiques des cours en informatique est qu’ils comprennent de nombreuses activités d’apprentissage pour lesquelles les téléphones intelligents ne peuvent pas être utilisés. Par exemple, l’application pratique de la méthodologie de programmation, l’organisation efficace du travail d’équipe en utilisant un système de contrôle de version (VCS) ou encore la maîtrise de la configuration de l’environnement de développement intégré (IDE) dans la tâche de programmation, sont des éléments essentiels de l’apprentissage. Malheureusement, ils sont difficiles à envisager autrement qu’en utilisant un poste de travail dit traditionnel, avec écran, souris et clavier physiques.

En effet, si l’on reprend notre dernier exemple, les téléphones intelligents n’offrent pas la possibilité de configuration optimale de l’environnement de développement intégré (IDE). Nous savons qu’en programmation, l’IDE est une suite logicielle qui consolide les outils de base dont les développeurs ont besoin pour écrire et tester le logiciel. L’IDE contient minimalement un éditeur de code, un compilateur ou un interprète et un débogueur, mais dans la pratique ils intègrent aussi de nombreux outils facilitant le développement. Aussi, bien que ces IDE soient offerts par le biais d’un modèle de livraison logiciel-comme-service (SaaS)⁴, pouvoir configurer et personnaliser ces outils peut être très difficile, voire impossible à réaliser sur un téléphone intelligent.

Par ailleurs, nous savons que même avec des fonctionnalités d’auto-complétion et d’autres méthodes pour suggérer et corriger les entrées des utilisateurs, les données entrées ont toujours potentiellement des erreurs, ceci même avec un clavier standard. Le nombre d’erreurs en utilisant le téléphone intelligent augmente considérablement en raison de son clavier à écran tactile et de sa taille d’écran plus petite et rend toute programmation peu productive [10]. De plus, sur un téléphone intelligent, un usager utilise ses doigts pour « cliquer » sur l’écran, ce qui diminue de manière significative la précision des « clics ».

Mais, dans le domaine de l’informatique, la programmation n’est pas la seule activité. Le suivi des versions, la communication et le partage d’idées dans une équipe de travail sont aussi d’une importance capitale. Dans ce sens, l’apprentissage mobile peut jouer

4. Software as a Service

son rôle comme outil de support en informatique et génie logiciel. La figure 3.5 présente des exemples d'applications mobiles de gestion des versions et de collaboration. Ces applications mobiles d'apprentissage permettent la diffusion de l'information nécessaire pour une équipe de programmation. Il faut souligner que dans l'apprentissage mobile, les meilleures applications sont celles qui visent à satisfaire un besoin immédiat dans la facilité, la rapidité et la ponctualité. Ces outils de collaboration permettent l'accès facile à l'information nécessaire pour satisfaire son besoin immédiat.

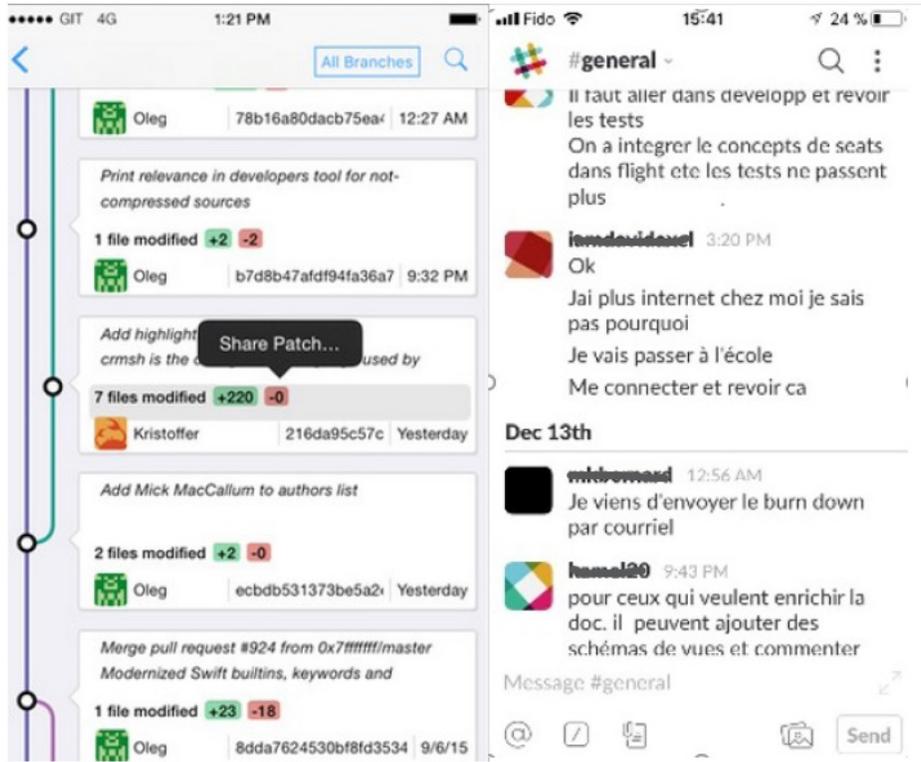


FIGURE 3.5 – Exemple d'outil de collaboration et de gestion des versions (copies d'écran d'un téléphone)

Aussi, la rapidité est un trait important pour l'apprentissage mobile en informatique. Il est devenu presque naturel que le premier réflexe pour trouver rapidement de l'information soit d'utiliser son téléphone intelligent. Avec cet appareil nous avons accès à nos courriels, nos agendas, nos appels et beaucoup d'autres modes de recherche et de communication. Il est un outil présent dans toutes nos actions. Grâce à la rapidité, ces outils de collaboration créent une espace d'apprentissage efficace et flexible dans une équipe de programmation.

En outre, nous vivons à une époque où la créativité et l'innovation alimentent le monde

à un rythme de plus en plus rapide. La compétence la plus importante que nous devons avoir est la capacité de savoir où obtenir les bonnes informations au bon moment. Pour être productif, il faut une formation instantanée et constamment à jour. Nous devons pouvoir rapidement apprendre de nouvelles compétences et échanger facilement de nouvelles idées. Dans ce contexte, les applications mobiles de collaboration en informatique favorisent un apprentissage ponctuel et instantané pour satisfaire des besoins immédiats.

3.5 Un modèle conceptuel complet de l'apprentissage mobile

Nous venons de présenter l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel. Après une présentation générale de l'apprentissage mobile, nous avons décrit des caractéristiques des applications mobiles d'apprentissage et avons montré que l'apprentissage mobile offre accès à un contenu bien diversifié. Nous avons ensuite cité des applications mobiles d'apprentissage qui peuvent intervenir en informatique et génie logiciel. Nous avons montré les difficultés que présentent les applications mobiles de programmation et avons montré l'apport des applications mobiles de gestion des versions et de communication dans une équipe de programmation. Compte tenu des difficultés des applications mobiles de programmation, il apparaît évident qu'en informatique, surtout en programmation, l'ordinateur reste un outil incontournable. Dans ce contexte, l'apprentissage mobile trouve donc plus sa place comme un outil de support, un outil collaboratif pouvant offrir des mises à jour sur le travail planifié, des notifications, des commentaires, des échéanciers de tâches, de nouvelles tâches à réaliser, de nouvelles idées, etc. L'accent doit alors être mis sur l'aspect de support et la nature collaborative des applications d'apprentissage mobile [54].

Comme l'affirment Oyelere et al., l'application des fonctions de communication telles que le chat, le courrier électronique, les notifications, les forums de discussion, etc. sont nécessaires en programmation et facilement accessibles avec un téléphone intelligent. Ils fournissent un soutien important dans le processus d'apprentissage et favorisent l'engagement des apprenants [44]. C'est cette idée de support et cette nature collaborative qui font de l'apprentissage mobile un apport indéniable dans le domaine de la programmation.

Poursuivant cette même idée, nous présentons l'apprentissage mobile comme un outil de

gestion des communications et collaborations, des participations, des recherches, etc., surtout dans l'apprentissage de la programmation [8].

Ainsi, disposant de l'ensemble des caractéristiques de l'apprentissage mobile présentées jusqu'ici, nous pouvons maintenant construire un modèle conceptuel complet de l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel. Ce modèle conceptuel, présenté dans la figure 3.6, reprend les principales parties de l'apprentissage mobile. Nous pouvons en distinguer trois : la partie qui caractérise l'apprentissage mobile comme outil d'apprentissage, celle qui présente le support d'apprentissage et la partie qui s'intéresse au contenu d'apprentissage.

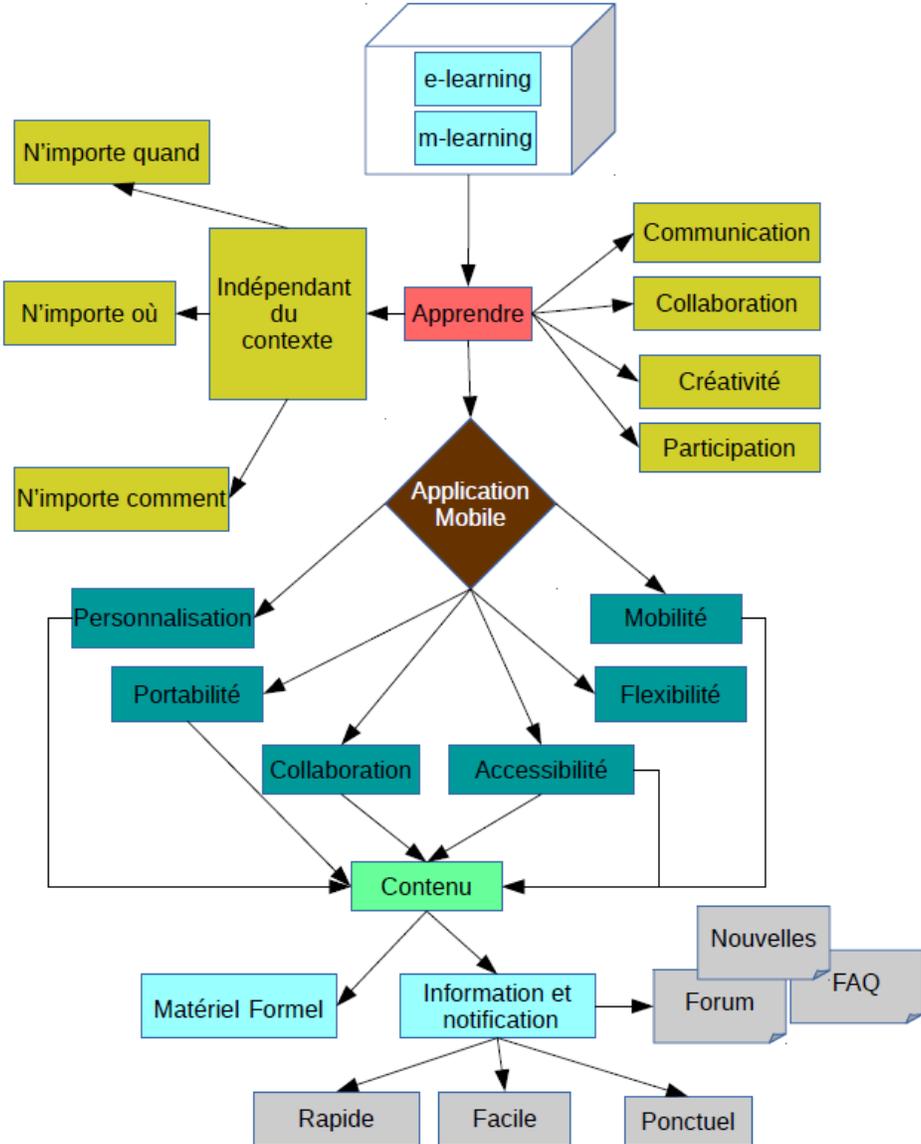


FIGURE 3.6 – Modèle conceptuel de l'apprentissage mobile

Aussi, nous devons rappeler que l'apprentissage mobile se distingue du e-learning, mais peut y être associé. L'apprentissage y est indépendant du contexte puisqu'il peut être réalisé n'importe quand, n'importe où et n'importe comment. La collaboration, la communication, la créativité et la participation en sont des caractéristiques importantes. Elles permettent à celui-ci d'être un espace d'interdépendance où chaque apprenant accomplit ses travaux de manière autonome, mais aussi collaborative.

Étant un apprentissage mobile qui se fait n'importe où, n'importe quand et n'importe comment, l'apprentissage mobile transcende les restrictions spatiales et temporelles et élimine la nécessité de lier certaines activités d'apprentissage à des endroits ou à des moments précis. La nature mobile de l'apprentissage mobile veut dire que chaque situation apporte son propre contexte, parfois imprévisible, et souvent déterminé par l'apprenant dans son environnement propre.

Les applications mobiles contribuent à cet environnement d'apprentissage. Celles-ci sont des supports portables, mobiles et flexibles capables d'offrir un apprentissage contextuel par lequel l'apprenant répond à ses besoins et contribue à l'apprentissage des autres. Avec la collaboration, ces applications mobiles deviennent des outils d'expansion des connaissances permettant aux apprenants de se former mutuellement. La collaboration est celle qui favorise la contribution à l'apprentissage des autres.

Ces applications doivent également être personnalisables. En effet, elles doivent offrir une variété de techniques d'apprentissage permettant à l'apprenant de bien personnaliser son apprentissage selon son contexte et sa localisation ; c'est-à-dire selon ses besoins, ses préférences, ses aptitudes et sa position spatiotemporelle pour accéder ou recevoir de l'information.

Aussi, les applications mobiles de l'apprentissage mobile doivent offrir une accessibilité à un contenu divers et diversifié. Ce contenu peut être formel, c'est-à-dire être du matériel académique, par exemple l'énoncé ou l'explication d'un travail à réaliser. Il peut aussi être informel. Dans ce cas, il s'agira d'information et de notifications de soutien dans le cheminement académique, par exemple le rappel d'une date de remise d'un travail ou la réception du commentaire d'un collègue de classe. L'apport de l'apprentissage mobile comme outil de support vise à valoriser l'aspect de l'accessibilité au contenu informel de façon à garantir la rapidité, la facilité et la ponctualité. Ce contenu informel est souvent publié dans des espaces facilement partageables et accessibles pour offrir une occasion d'échanger des nouvelles sur une activité académique, une possibilité de discussion dans un forum et un endroit pour répondre aux questions fréquemment posées (FAQ) sur

une activité académique.

Ce modèle complet nous offre donc une vision claire de l'apprentissage mobile. Il nous permet alors d'évaluer les potentialités du téléphone intelligent vis-à-vis du service que nous attendons de lui dans l'apprentissage mobile et de comprendre le rôle de ce style d'apprentissage comme outil de support dans le domaine de l'informatique et génie logiciel.

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel et avons proposé un modèle conceptuel de l'apprentissage mobile comme outil de support dans ce domaine. Pour arriver à ce modèle, nous avons d'abord présenté un modèle de l'apprentissage mobile de manière générale. Ensuite, nous avons parlé des caractéristiques des applications mobiles d'apprentissage, puis nous avons montré que l'apprentissage mobile est un style d'apprentissage permettant d'accéder à une variété de contenu. Nous avons aussi présenté les types d'outils de l'apprentissage mobile utilisés dans le domaine de l'informatique et du génie logiciel. Nous avons montré que les efforts qui tentent d'intégrer le téléphone intelligent parmi les outils de programmation sont visibles. Mais ces efforts se heurtent à des obstacles actuellement difficiles à contourner. Parmi ces obstacles, nous avons cité entre autres la gestion de nombreuses fenêtres d'affichage d'information dans l'environnement de développement, les méthodes d'entrée et de sortie des données très limitées, l'utilisation et les configurations des environnements de développement intégré (IDE)...

Compte tenu de ces difficultés, nous avons proposé un modèle de l'apprentissage mobile comme un outil de support dans le processus d'apprentissage en informatique et génie logiciel. Nos arguments sont fondés sur le fait que la communication s'avère très importante en programmation.

Aussi, notre modèle suggère que l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel doit être conçu comme un outil de support orienté vers l'échange d'information de manière facile, rapide et instantanée plutôt que d'être un modèle d'enseignement. Il apparaît comme un outil d'apprentissage adapté au mode de vie actuel et un moyen moderne de compléter le processus d'apprentissage en cours.

Cet outil doit fournir un soutien important à la mobilité, s'étendant à toutes les opportunités indépendamment du temps et de l'espace. Il doit offrir à l'apprenant la

responsabilité de se servir de son outil de support et de décider sur le « comment », le « quand » et le « quoi » apprendre en ayant la possibilité de le personnaliser. Enfin, cet outil doit accorder à l'apprenant la possibilité de générer des connaissances dans un style d'apprentissage ouvert, collaboratif et encourageant.

Chapitre 4

Implémentation du m-learning comme outil de support

Ce chapitre a pour but d'envisager une implémentation de l'apprentissage mobile capable de promouvoir la personnalisation de l'apprentissage. Tout d'abord, nous présentons quelques styles architecturaux pouvant aider à développer des outils d'apprentissage cohérents selon les besoins des utilisateurs. Par la suite, nous élaborons une représentation architecturale des types d'outils de l'apprentissage mobile. Puis nous décrivons l'expérimentation que nous avons réalisée et analysons les résultats obtenus. Enfin, nous proposons une architecture multi-plateforme pour la conception de l'apprentissage mobile vu comme un outil de support personnalisable.

4.1 Styles architecturaux pour un apprentissage mobile personnalisable

Compte tenu de la nécessité croissante de construire un environnement de l'apprentissage mobile de haute qualité, réutilisable et fiable, les efforts pour établir des normes architecturales sont de plus en plus pertinents. Atteindre le public le plus large possible demande de créer une application mobile d'apprentissage qui peut être utilisée sur plusieurs plateformes de téléphones intelligents qui ont inévitablement des capacités différentes. Parler d'architecture revient à s'interroger sur l'ensemble des règles à suivre pour réussir à développer un système qui répond à un certain nombre d'exigences fonctionnelles. Une architecture est une infrastructure composée des modules actifs, d'un

mécanisme d'interaction entre ces modules et d'un ensemble de règles qui gouvernent cette interaction [4].

Pour bien gérer la communication entre différentes parties d'une application, la pratique la plus courante en termes d'architecture est le modèle en couches. Le modèle le plus commun consiste à subdiviser l'architecture en 3 couches. La couche de présentation s'occupe du comment l'application présente les données à l'utilisateur. C'est là que se situe la gestion des différentes vues et animations. La couche de cas d'utilisation (ou le domaine) quant à elle, gère les principales fonctions de l'application. Nous retrouvons dans cette couche les règles métiers et toutes les implémentations logiques (interactions) de l'application. La dernière couche est la couche des données. Elle inclut toutes les données nécessaires à l'application [63, 58, 29].

Il existe différentes façons d'implémenter ce modèle en 3 couches. Les modèles architecturaux les plus utilisés sont : le Modèle-Vue-Contrôleur (MVC)¹, le Modèle-Vue-Présentation (MVP)² et le Modèle-Vue-VueModèle (MVVM)³.

4.1.1 Modèle-Vue-Contrôleur (MVC)

Le Modèle-Vue-Contrôleur (MVC) est la première tentative de séparation de l'interface utilisateur de la représentation interne de l'information dans une application [58]. Il contient trois couches ou composants : le Modèle, la Vue et le Contrôleur. Le MVC est généralement utilisé pour schématiser l'entrée, le traitement et la sortie [58].

Contrôleur → Modèle → Vue

Entrée → Traitement → Sortie

Ainsi, dans l'architecture MVC, illustrée par la figure 4.1, le Modèle est responsable du traitement des données selon certaines règles d'utilisation et de mise à jour. Il délivre ces données vers la Vue sans s'inquiéter de la façon dont celles-ci seront présentées. Le Contrôleur est utilisé pour capter l'entrée de l'utilisateur et la traduire en action qui peut être réalisée par le Modèle. C'est sa responsabilité de sélectionner les Vues en fonction des entrées reçues de l'utilisateur. La Vue prend en charge la présentation graphique des données indépendamment du traitement du Modèle. Elle prend les données finales et les transforme pour l'affichage [29].

-
1. Model-View-Controller (MVC)
 2. Model-View-Presenter (MVP)
 3. Model-View-ViewModel (MVVM)

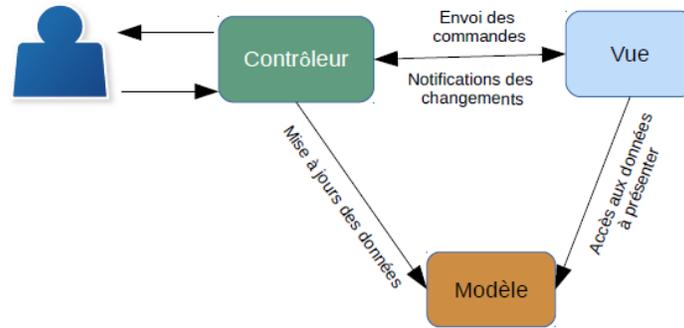


FIGURE 4.1 – Modèle-Vue-Contrôleur

4.1.2 Modèle-Vue-Présentation (MVP)

Le Modèle-Vue-Présentation (MVP) est dérivé du modèle architectural MVC. Dans l'architecture MVP, figure 4.2, le rôle du Modèle est identique à celui du MVC. Cependant, la Présentation ne s'occupe pas de capter les entrées comme le fait le Contrôleur dans le MVC. Elle joue le rôle du Contrôleur uniquement pour traduire les entrées en action qui peut être réalisée par le Modèle. Aussi, dans cette architecture, la Vue est celle qui capte les entrées et affiche les sorties. Par ailleurs elle n'a aucune idée de ce que fait le modèle. La Présentation est la seule qui peut lire et récupérer les données du Modèle. Elle communique directement à sa Vue pour lui fournir les informations qui viennent du Modèle [58]. Contrairement au MVC où le Modèle permet une certaine communication avec la Vue, dans le MVP aucune logique de mise à jour des données n'est implémentée dans la Vue.

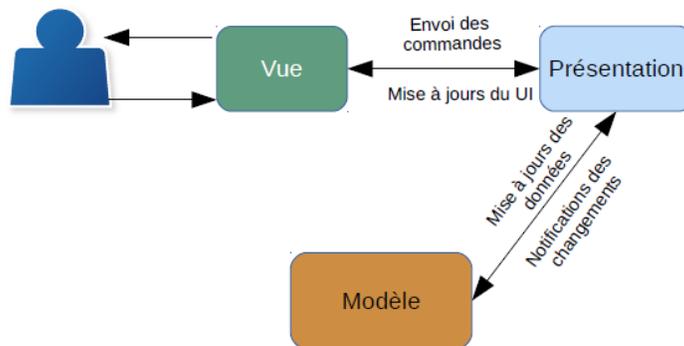


FIGURE 4.2 – Modèle-Vue-Présentation

4.1.3 Modèle-Vue-VueModèle (MVVM)

L'architecture Modèle-Vue-VueModèle (MVVM) est une nouvelle évolution du MVC adaptée pour le développement des interfaces utilisateurs (UI) modernes [58]. Comme

les deux précédentes, l'architecture MVVM comporte trois composants : Le Modèle, la Vue et le VueModèle (figure 4.3). La Vue est celle qui capte les entrées et affiche l'interface utilisateur. Le Modèle représente les données, le VueModèle joue le rôle de coordonner les actions et réactions de l'application. Il est celui qui fait passer les données et les opérations pour voir et gérer la logique et le comportement de la Vue [48].

Dans l'architecture MVVM, la connexion entre le VueModèle et la Vue est plus complexe que dans les architectures MVC ou MVP. Il existe deux types de connexions. La connexion ordinaire est similaire à celle qu'on retrouve dans les deux modèles précédents dans laquelle le composant VueModèle se charge de changer la Vue selon les informations du Modèle. Le deuxième type de connexion est la connexion par liaison des données⁴. C'est un nouveau mécanisme introduit dans le MVVM. Il permet à la Vue d'être directement liée au VueModèle [58]. Avec la liaison des données, le VueModèle n'est pas obligé de modifier la Vue lors d'un changement. Celle-ci sait que les données ont changé et va afficher elle-même les nouveaux changements. Cette liaison des données entre la Vue et le VueModèle peut être unidirectionnelle ou bidirectionnelle [48].

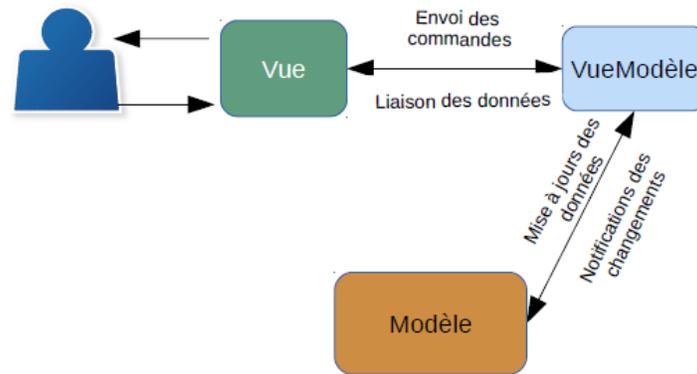


FIGURE 4.3 – Modèle-Vue-VueModèle

4.1.4 Comparaisons MVC-MVP-MVVM

Nous pouvons noter que ces trois modèles jouent le même rôle : la séparation des tâches entre les différentes couches d'une application. Cependant, une des différences qui existent entre ces trois modèles est l'accès au Modèle de données. Dans le modèle MVC, la Vue et le Contrôleur font référence au Modèle. Cette structure facilite la création des vues, car la Vue peut se lier directement aux propriétés du modèle de

4. Data binding

données. Cependant, cela signifie que la Vue est plus difficile à réutiliser, car elle est liée à un modèle spécifique de représentation des données qui pourrait ne pas être utilisé dans un autre contexte [65]. Cela rend également la logique de liaison difficile à tester, car elle réside dans la Vue.

Le MVP ne permet pas cette référence de la Vue au Modèle. Ainsi la Présentation prend en charge les responsabilités de lier le modèle de données aux contrôles d'entrée. Cela améliore la stabilité, car toute la logique est dans la Présentation plutôt que dans la Vue. Cependant, la mise en œuvre d'une logique de liaison sans accès direct aux contrôles de l'interface utilisateur peut être difficile [65].

L'architecture MVVM ajoute le concept d'un VueModèle qui est une classe qui détient les données et la logique spécifiques pour une Vue précise. Il est analogue au Contrôleur ou à la Présentation en ce sens qu'il a la logique de contrôler la Vue. Son rôle est de servir la Vue et de lui fournir les données ainsi que les commandes dont elle a besoin. Il est comme un conteneur où la Vue va chercher les données et les actions. Cependant, la question de savoir si la Vue devrait avoir accès au Modèle est contournée avec le mécanisme de liaison des données qui fournit une nouvelle façon de lier la Vue directement à l'objet contenant les données [48]. La liaison des données dans le MVVM permet à la Vue d'être directement liée aux propriétés et aux opérations du VueModèle. Comme souligné plus haut, avec la liaison des données, le VueModèle n'a pas à notifier les changements. La Vue sait que les données ont changé et se charge elle-même de les afficher [48, 65]. Dans le MVC et le MVP, après le changement et le chargement des données, la Présentation et le Contrôleur doivent redéfinir la Vue pour l'affichage. Avec le mécanisme de liaisons des données, la Vue est liée à ces données et lorsqu'elles sont chargées la Vue se change automatiquement.

4.2 Types d'application pour un apprentissage mobile personnalisable

Après avoir présenté certains styles architecturaux, cette section consiste à montrer différents types d'outils qui peuvent être conçus suivant ces styles. En effet, avec la multiplication des versions des téléphones intelligents et de leur système d'exploitation associé, il devient nécessaire de comprendre les types d'applications mobiles et de dégager leurs avantages et limites par rapport à cet aspect. On peut répertorier trois grands types d'applications mobiles : les applications Web (Web Adaptatif), les applications

natives et les application hybrides.

4.2.1 Les applications Web adaptatives

Comme illustré dans la figure 4.4, une application Web (Web App) est un programme ou un logiciel qui est hébergé sur un serveur distant et accessible via Internet à l'aide d'un navigateur Web [36]. Dans le cas d'applications Web, le téléphone intelligent ne contient qu'un navigateur Web mobile. L'utilisateur interagit avec l'application Web en envoyant ses requêtes par le biais de ce navigateur. La logique d'affaires et tout le traitement sont effectués sur le serveur. Seuls les résultats sont affichés sur le téléphone intelligent.

Une application Web est conçue et fonctionne comme un site Web, en termes de plateforme, c'est-à-dire qu'elle est créée à l'aide des technologies Web standard comme HTML, CSS, JavaScript. La différence entre une application Web et un site Web est qu'un site Web est défini par son contenu alors qu'une application Web est définie par son interaction. Autrement dit, un site Web est une collection de pages Web qui donnent du contenu statique, principalement informatif. Par opposition, une application Web est un programme ou un logiciel stocké sur un serveur et est caractérisée par l'interaction et le traitement des données [36].

Dans le but de rendre le contenu disponible et fonctionnel sur le téléphone intelligent, le développement des applications Web est devenu de plus en plus populaire. Cette technologie vise la transversalité et la disponibilité du contenu indépendamment du support de consultation. Les Applications Web s'appuient sur le développement de HTML5, CSS3 Bootstrap, y compris les technologies de stockage pour implémenter des fonctionnalités complexes. Cette technologie vise à adapter les mises en page aux tailles d'écran réelles de manière à accommoder plusieurs types de téléphones intelligents [34].

Le développement des applications Web n'a pas besoin d'aucun kit de développement logiciel (SDK) pour accommoder les téléphones intelligents. Il existe des modèles et des infrastructures logicielles⁵ comme Angular, React et Vue.js faciles à utiliser pour rendre une application Web plus dynamique et fonctionnelle sur le téléphone intelligent [36].

Actuellement, les applications Web ont évolué avec l'apparition du design adaptatif. Nous savons que, chaque instant, des téléphones intelligents de différentes tailles et

5. Frameworks

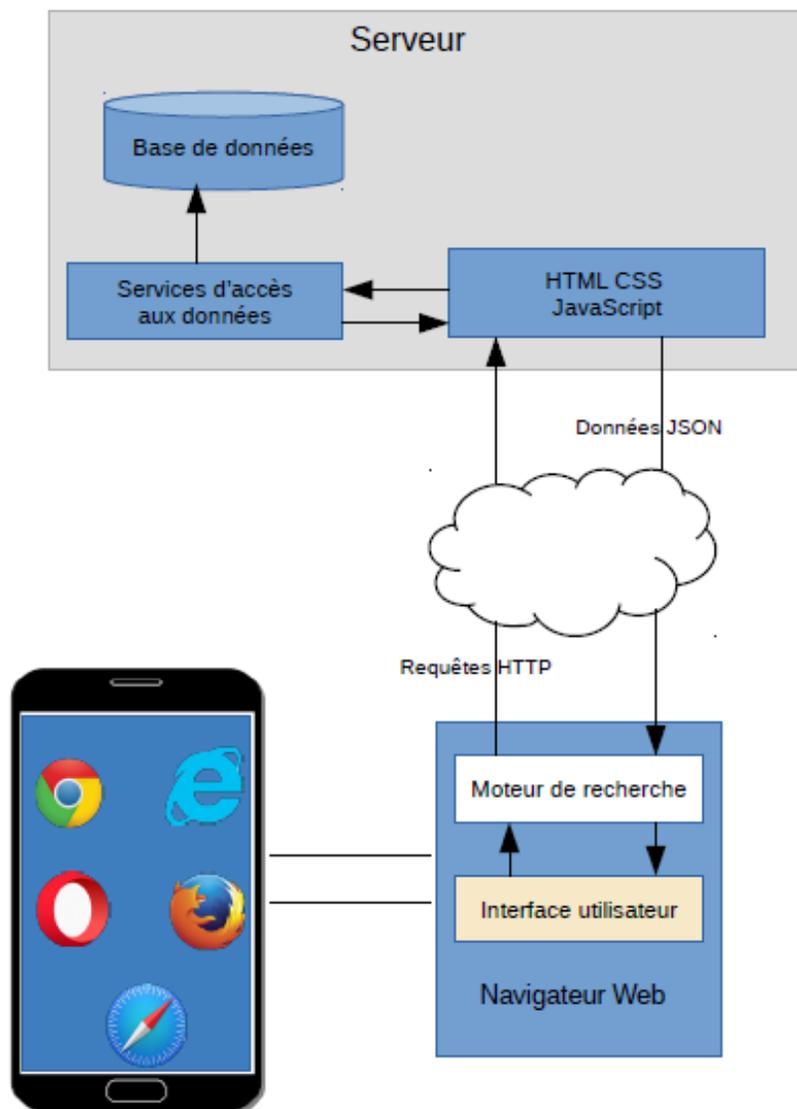


FIGURE 4.4 – Principe de fonctionnement d’une Application Web ; le code réside sur le serveur

différentes formes d'écran se connectent sur le Web à la recherche d'informations. Le design adaptatif apparaît de plus en plus important pour créer des applications Web qui s'ajustent à l'écran du périphérique. Un design adaptatif ou réactif est une approche selon laquelle la conception et le développement de l'application Web doivent répondre au comportement et à l'environnement de l'utilisateur sans être limités par la taille d'écran, la plateforme ou l'orientation de l'appareil [40].

Comme les appareils mobiles tels que les téléphones intelligents font maintenant partie intégrante de la façon dont nous consommons de l'information, le développement adaptatif devient important pour présenter une application Web sur n'importe quel écran. L'objectif de cette conception Web est de rendre une page Web « présentable », quelle que soit la taille de l'écran du périphérique [34]. Cela signifie qu'il n'y a pas une disposition fixe dans laquelle les éléments d'une page Web sont placés en permanence. La mise en page Web s'ajuste et réorganise les éléments de la page selon la taille de l'écran.

Un design adaptatif est donc tout simplement un design qui s'ajuste, quelle que soit la résolution d'écran [40]. La figure 4.5 illustre cette technologie des applications Web adaptatives. La figure 4.5a présente le site de l'université Laval tel qu'il est rendu sur un ordinateur portable. On peut bien y voir tous les menus affichés horizontalement après l'en-tête. Par ailleurs, si on accède au même site sur iPhone 5s, le premier écran n'affiche pas les menus (figure 4.5b). Les menus s'affichent verticalement l'un après l'autre quand on clique sur l'icône des menus (figure 4.5c).

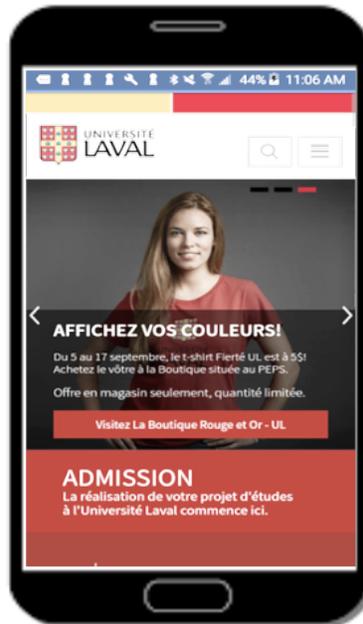
La production des applications Web adaptatives est possible grâce à l'utilisation des requêtes multimédias⁶ disponibles avec l'amélioration du CSS. En effet, les requêtes multimédias sont des filtres qui peuvent être appliqués à un style afin de créer du contenu adaptatif à ce style [40]. En d'autres termes, les requêtes multimédias sont des instructions CSS pour afficher une page web selon la taille et la résolution de l'écran. Cela permet de présenter différemment le même contenu sur des écrans de tailles différentes [40]. Les requêtes multimédias les plus utilisées sont : *min-width*, *max-width*, *min-height* et *max-height*.

- *min-width* : Règles appliquées pour toute largeur de navigateur supérieure à la valeur définie dans la requête.
- *max-width* : Règles appliquées pour toute largeur de navigateur inférieure à la valeur définie dans la requête.

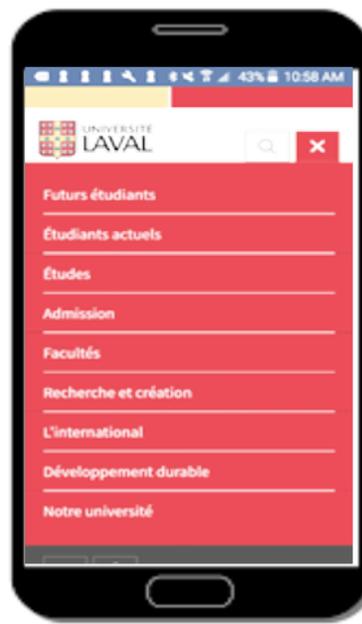
6. Media Query



(a) Affichage sur ordinateur



(b) Affichage sur téléphone intelligent



(c) Affichage sur téléphone intelligent

FIGURE 4.5 – Pages issues d'un site web adaptatif

- *min-height* : Règles appliquées pour toute hauteur de navigateur supérieure à la valeur définie dans la requête.
- *max-height* : Règles appliquées pour toute hauteur de navigateur inférieure à la valeur définie dans la requête

Pour adapter l’affichage en fonction de la résolution d’écran il faut connaître les caractéristiques du téléphone intelligent visé. Généralement, la résolution varie entre 320×240 pixels et 1280×800 pixels. L’adaptation consiste à faire en sorte que les éléments à afficher rentrent dans ces différentes résolutions. Cela implique alors des conditions à poser sur les styles d’affichage d’une application Web en utilisant les requêtes multimédias.

De manière courante, il est estimé qu’en mode portrait, la largeur d’écran de moins de 480 pixels est celle d’un téléphone intelligent, une largeur d’écran entre 480 pixels et 1024 pixels est celle d’une tablette et une largeur d’écran supérieure à 1024 pixels est celle d’un ordinateur de bureau ou portable [64]. Les requêtes multimédias pour adapter l’affichage en fonction de la résolution d’écran peuvent être construites de la manière suivante :

- *@media (min-width : 1200px) { éléments à afficher }* affichage sur ordinateur
- *@media (min-width : 992px) and (max-width : 1199px) { éléments à afficher }* affichage sur mini-ordinateur et tablettes de grande résolution
- *@media (max-width : 767px) { éléments à afficher }* affichage sur tablettes ordinaires
- *@media (max-width : 500px) { éléments à afficher }* affichage sur téléphones intelligents

Le listing 4.1 présente un exemple de code d’une application web adaptative. A l’affichage de la page web, si la cible est un ordinateur de largeur d’écran d’au moins 1200 pixels, la page s’affichera avec l’image de fond d’écran *content_large.jpeg* dans le conteneur, lignes 1 à 6. Si la cible est un mini-ordinateur portable ou une tablette en grande résolution, le fond d’écran du conteneur sera l’image *content-med.jpeg*, lignes 7 à 18. Pour cibler les tablettes ordinaires, le conteneur aura le fond d’écran *content-small.jpeg*, lignes 19 à 24. Pour les petites tablettes et les téléphones intelligents, la page s’affichera sans le conteneur et sans l’image de fond d’écran, ligne 25 à 34.

Listing 4.1 – Exemple de code d’une page web adaptative

```

1 @media (min-width : 1200px) {
2     .container .jumbotron {
```

```

3         background: url( '../images/content-large.jpeg ' ) no-repeat;
4         height: 675px;
5     }
6 }
7 @media (min-width: 992px) and (max-width: 1199px) {
8     #logo-img {
9         background: url( '../images/restaurant-logo-med.jpg ' ) no-repeat;
10        width: 100px;
11        height: 100px;
12        margin: 5px 5px 5px 0;
13    }
14    .container .jumbotron {
15        background: url( '../images/content-med.jpg ' ) no-repeat;
16        height: 558px;
17    }
18 }
19 @media (min-width: 768px) and (max-width: 991px) {
20     .container .jumbotron {
21         background: url( '../images/content-small.jpg ' ) no-repeat;
22         height: 558px;
23     }
24 }
25 @media (max-width: 767px) {
26     .navbar-brand {
27         padding-top: 10px;
28         height: 80px;
29     }
30     .navbar-brand h1 {
31         padding-top: 8px;
32         font-size: 3vw; /* 1vw = 1% of viewport width */
33     }
34 }

```

Par opposition, la figure 4.6a présente la page d'un site non adaptatif. Lorsqu'on accède à la page du service CAPSULE de l'université Laval, l'affichage sur le téléphone intelligent iPhone 5s est le même que sur l'ordinateur portable. Comme illustré dans la



(a) Affichage sur ordinateur



(b) Affichage sur téléphone intelligent

FIGURE 4.6 – Page issue d'un site web non adaptatif

figure 4.6b, on voit qu'il est difficile de consulter cette page sur un téléphone intelligent parce qu'elle n'est pas conçue pour s'ajuster à l'écran.

Néanmoins, le développement des applications Web adaptatives a aussi ses limites. On peut citer par exemple l'accès aux fonctionnalités du support. Bien que l'arrivée du standard HTML5 ait progressivement introduit l'accès à certaines fonctionnalités du

support, il faut du temps aux éditeurs pour adopter toutes ses spécifications et de ce fait, certaines restrictions plus ou moins contraignantes existent encore. Par exemple, l'utilisation du capteur de luminosité, des indicateurs de charge et niveau de la batterie ainsi que les notifications par vibration du téléphone intelligent sont des fonctionnalités qui ne sont pas encore supportées par tous les navigateurs [19].

En termes de personnalisation, le développement des applications Web ne rend possible qu'une faible personnalisation de l'application. A titre d'exemple, la configuration des notifications push est une fonctionnalité importante pour la personnalisation des applications mobiles. Une notification push est un message qui est envoyé depuis le serveur ou depuis le système du téléphone vers l'interface utilisateur pour rappeler une information ou attirer l'attention de l'utilisateur [49]. On trouve deux grandes catégories de notifications push : les notifications locales, par lesquelles l'application planifie la notification dans le système d'exploitation du téléphone intelligent ; et les notifications à distance, qui sont gérées par un serveur distant auquel l'application s'enregistre avec une clé unique pour l'envoi des messages [49].

Cependant, les applications Web ne permettent pas la réception des notifications push locales et ne favorisent pas une bonne personnalisation des notifications push distantes. En effet, comme elles n'ont pas accès à toutes les fonctionnalités du téléphone intelligent, elles ne sont pas paramétrables localement pour offrir une notification qui vient du système. Par ailleurs, l'application doit être active pour pouvoir afficher la notification. Cet inconvénient est dû au fait que les applications Web gèrent les connexions des utilisateurs par session. Une fois la session finie l'application est fermée, l'utilisateur est déconnecté et ne peut donc plus recevoir de notifications.

Par ailleurs, en raison de la structure et du fonctionnement même du DOM⁷ (interface qui permet de parcourir l'arborescence du document Web afin de manipuler son contenu) et malgré des améliorations constantes, les applications Web mobiles ne peuvent pas encore réellement entrer en compétition avec par exemple, les applications natives présentées plus bas. Du point de vue performances, contrairement aux applications natives (développées en langage compilé et installées sur le téléphone), les applications Web sont généralement lentes parce que développées en langage interprété et ne fonctionnent pas sans connexion à l'Internet [19].

7. Document Object Model (DOM)

4.2.2 Les applications natives

Le terme « application native » est souvent mentionné dans le contexte de l’informatique mobile, pour faire référence aux applications qui sont développées pour des plateformes mobiles individuelles dans un langage de programmation qu’elles supportent. Il peut s’agir du langage de programmation Java pour Android, Objective-C ou Swift pour iOS, C++ pour Windows Phone... mais également des outils et interfaces propres au système visé [50]. Les applications natives sont installées sur le téléphone intelligent et fonctionnent en mode local. Ceci leur permet de faire appel aux couches basses du téléphone intelligent pour exploiter ses fonctionnalités, telles que la caméra, le microphone, etc. [19].

Dans une application native le code est exclusivement exécuté sur le téléphone intelligent. La figure 4.7 illustre le principe de fonctionnement d’une application native. Pour exploiter les données sur le serveur, l’application envoie une requête http. Le gestionnaire d’identification et d’accès établit la connexion au serveur. Le service d’accès aux données du serveur vérifie si le demandeur a les droits d’accéder à ces données. Si oui, celui-ci récupère les données du serveur, constitue la réponse à la requête, puis l’envoie à l’application.

Si l’on considère par exemple les applications Android, celles-ci sont structurées en modules. Un module est composé des fichiers pour le code source, des fichiers des ressources et des fichiers des paramètres de construction qui permettent d’organiser l’application en unités de fonctionnalités [47]. Lors de la création d’un nouveau projet Android, le nom du module par défaut est “app”. Un projet peut avoir un ou plusieurs modules et un module peut utiliser un autre module en tant que dépendance. Chaque module peut être construit, testé et débogué indépendamment. Dans chaque module d’une application Android, les fichiers sont regroupés de la manière suivante :

manifest : Il contient le fichier *AndroidManifest.xml* qui décrit la nature de l’application et chacun de ses composants. **java** : Il contient les packages des fichiers de code source, y compris le code des tests. **res** : Il contient toutes les ressources, telles que les interfaces utilisateur, les images ... Il est divisé en sous-répertoires pour différentes catégories des ressources. C’est entre autres grâce à ces ressources qu’il est possible de gérer le multilinguisme, les différentes tailles d’images, etc. **Gradle Scripts** est un module à part, mais qui fait partie du projet et qui définit les configurations de construction spécifiques aux autres modules.

On retrouve aussi la notion d’activité dans les applications natives du système Android.

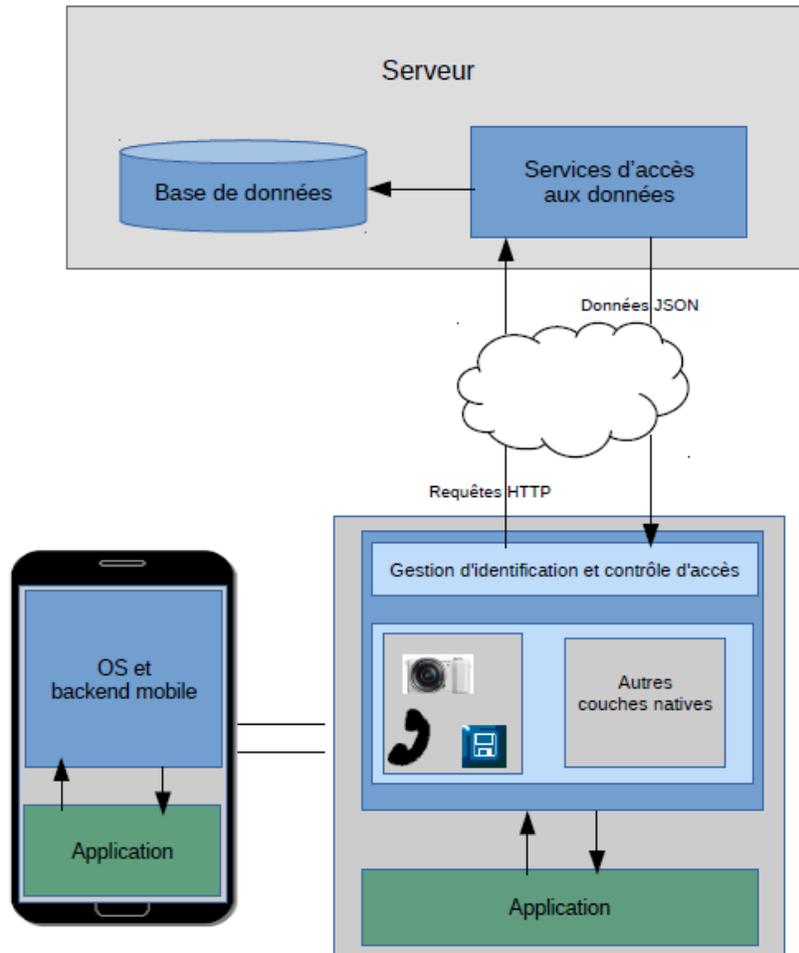


FIGURE 4.7 – Principe de fonctionnement d’une application native ; le code réside sur le téléphone intelligent

Une activité correspond à une page de l’application. Tel qu’illustré dans la figure 4.8, son code source est placé dans le groupe **java** et son interface utilisateur dans le groupe **res**, dans le sous-répertoire **layout** de l’arborescence Android. Concrètement, il s’agit d’une classe héritant de la classe `Activity` et qui comprend un ensemble de méthodes correspondant au cycle de vie de cette page. Dans l’implémentation de cette classe, les méthodes sont surchargées selon les besoins tels que le démarrage d’une activité `onStart()`, la réactivation de l’activité `onResume()` ou la destruction de l’activité `onDestroy()` ... Cette classe comprend également le code des événements et des actions que peut effectuer l’utilisateur, comme l’enregistrement des données, la navigation vers d’autres pages, le démarrage d’un service, etc.

Généralement, après l’initialisation, l’application démarre sa première activité et lance l’interface utilisateur de cette activité. Pour interagir avec l’utilisateur, l’application

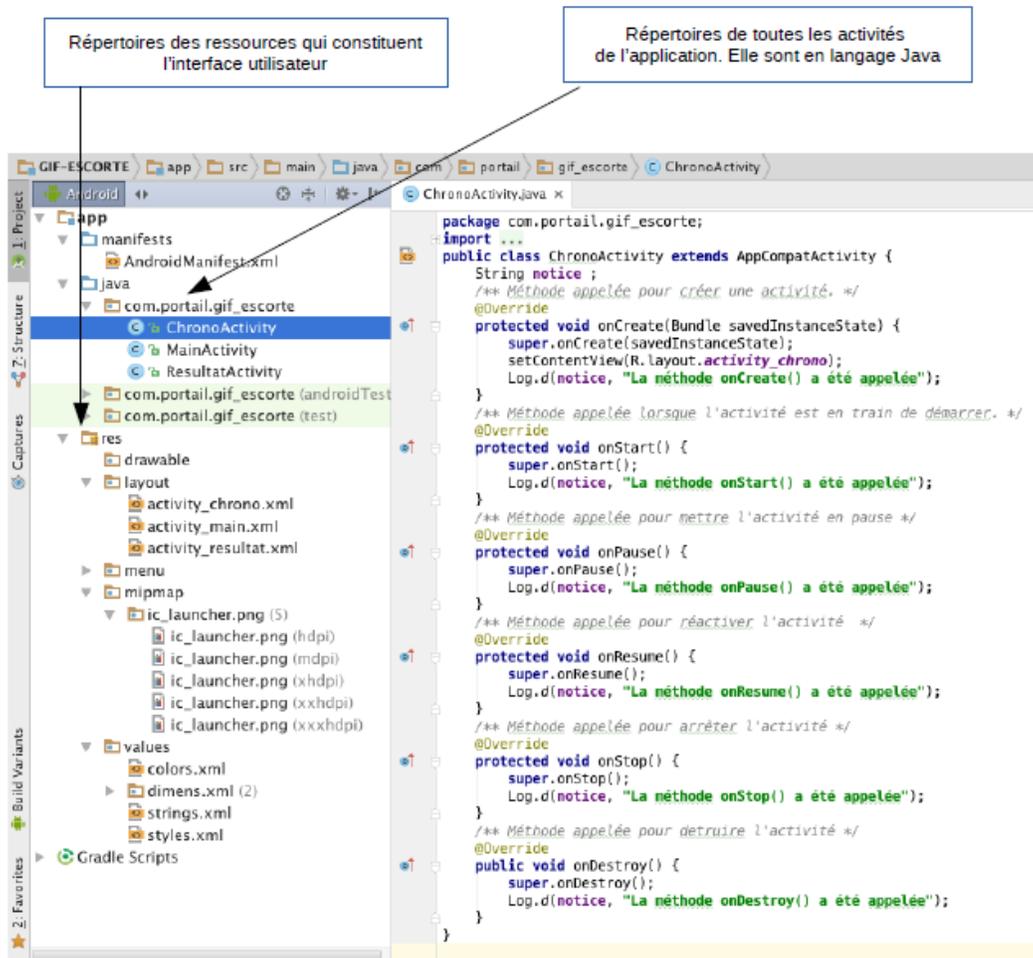


FIGURE 4.8 – Exemple d'activités sous Android

se sert des *Intents*. Les *Intents* permettent d'envoyer les données, les messages ou de déclencher l'activité d'une autre application [47]. Le listing 2 illustre le démarrage d'une activité d'appel téléphonique.

Listing 4.2 – Exemple de configuration et d'utilisation d'un *Intent* : construction d'un objet *Intent*, assignation de son champ caractéristique et déclenchement d'une activité

```

1 Intent intent = new Intent (Intent.CALL ACTION);
2 Intent.setData(Uri.parse( "5819221132" ));
3 startActivity(intent);

```

Les applications natives sont majoritairement fiables et stables parce qu'elles sont conçues et développées selon le standard de l'appareil mobile et ont accès à ses fonctionnalités natives. Elles offrent une performance optimale et ont une interface personnalisable [50]. En effet, utilisant le langage compilé et installées directement sur la machine

cible, elles accèdent directement aux ressources du téléphone intelligent et offrent un meilleur environnement de performance et de personnalisation parce que le traitement et l’affichage des données se font localement [47].

Cependant ces applications natives coûtent généralement plus cher à développer et à maintenir puisqu’elles ne sont pas partageables. En effet, l’application est liée à un type de système d’exploitation, obligeant la création d’autant de versions de l’application que de types de systèmes d’exploitation sur lesquels elle est déployée. Cela est d’autant plus coûteux connaissant le nombre de types de systèmes d’exploitation qui existent actuellement. On peut citer en l’occurrence Apple iOS, Google Android, BlackBerry OS, Symbian de Nokia, les webOS de Hewlett-Packard et le système d’exploitation Windows Phone de Microsoft.

Aussi, comme les applications natives sont installées sur le téléphone intelligent, elles présentent le problème de mises à jour. Avec les applications natives, chaque mise à jour donne lieu à un nouveau déploiement de l’application, à un nouveau téléchargement et à une nouvelle installation du côté de l’utilisateur.

4.2.3 Les applications hybrides

Actuellement, de nombreuses entreprises s’intéressent davantage au développement de leurs propres applications mobiles pour accroître leur productivité. Comme mentionné précédemment, la grande limite des applications natives est l’impossibilité de transférer ces applications vers plusieurs plateformes différentes.

En effet, développer des applications mobiles natives implique généralement le développement d’une même application sur au moins les trois systèmes les plus répandus (iOS, Android et Windows) pour atteindre le plus grand nombre de clients. Cela implique aussi des connaissances spécifiques de trois environnements et langages différents sans aucune portabilité possible. Devant cette situation, le développement d’une application native peut énormément augmenter les ressources nécessaires pour sa réalisation. Aussi, la maintenance représente un autre investissement considérable tout au long de la vie de l’application. Observant tous ces enjeux qu’implique le développement des applications natives, la proposition du multiplateforme devient incontournable.

Une application hybride est développée en utilisant les langages de programmation Web tel que HTML, JavaScript et CSS, mais peut être installée et exécutée en natif moyennant un ensemble d’outils [55]. Ce type de développement se retrouve entre

le développement natif et le développement Web et permet de créer des applications hybrides pour atteindre un équilibre entre la performance et le coût.

Tel que présenté dans la figure 4.9, l'accès aux données sur le serveur se fait avec une requête http envoyée par l'application. Pour accéder au gestionnaire d'identification et d'accès, qui est une fonctionnalité native du téléphone intelligent, l'application se sert d'une infrastructure logicielle qui lui permet d'exploiter les fonctionnalités natives. Le gestionnaire d'identification et d'accès établit la connexion au serveur à l'aide de cette infrastructure logicielle. Le service d'accès aux données du serveur vérifie si le demandeur a les droits d'accéder aux données. Si oui, celui-ci récupère les données du serveur, constitue la réponse à la requête, puis l'envoi à l'application.

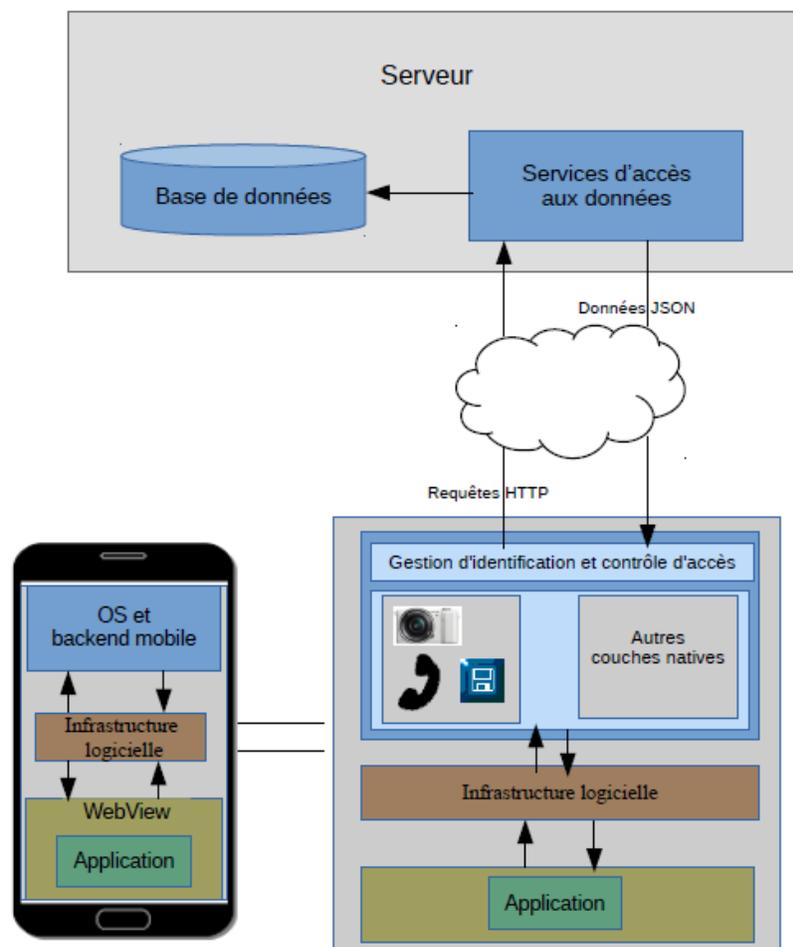


FIGURE 4.9 – Principe de fonctionnement d'une application hybride; le code réside sur le téléphone intelligent et se sert d'une infrastructure logicielle pour pouvoir exploiter les fonctionnalités natives du téléphone

Le développement des applications hybrides est facilité par l'utilisation d'une gamme

variée d'infrastructures logicielles telles que Cordova/PhoneGap, Sencha, Titanium, Rhomobile, Mosync, Worklight, Corona, Backelite, ... [50, 19, 45]. Le but principal de ces infrastructures logicielles est de fournir des ponts qui relient le code Web aux ressources natives du terminal de manière à garantir l'accès direct aux fonctionnalités de bas niveau. Ces infrastructures supportent ainsi le développement d'applications mobiles portables et fonctionnelles sur différents systèmes d'exploitation de téléphone mobile (OS) tels qu'Android, iOS, Windows Phone et BlackBerry [45].

Le développement des applications hybrides est une technologie qui utilise les WebViews des différents systèmes d'exploitation tels que `UIWebView` sur iOS et `android.webkit.WebView` sur Android. Ces WebViews permettent d'interagir avec les modules d'extension des infrastructures logicielles dans le but d'exploiter les fonctionnalités du téléphone intelligent [55]. La WebView joue le rôle d'interpréter le code Web du projet à la manière d'un navigateur. Pour ce faire, il faut définir cette WebView en tant que Vue et lui lancer la demande de chargement du contenu Web [19]. L'accès aux fonctionnalités du téléphone intelligent de bas niveau se fait grâce aux différents modules d'extension fournis par l'infrastructure logicielle [5, 50].

Le listing 4.3 présente un exemple de fonctionnement d'une application hybride. Cet extrait de code permet de récupérer les contacts du téléphone intelligent ; une action qu'une application web serait incapable de faire. Dans la première partie, l'application lance l'action de recherche de la liste des contacts lorsque le bouton *find_contacts* est cliqué. Dans cette action l'application fait appel au module d'extension⁸ Cordova (lignes 1 à 14) et lance la méthode *find()* sur l'objet *org.apache.cordova.contacts.ContactFindOptions* (lignes 11 à 13) pour récupérer la liste de contacts du téléphone intelligent. La recherche est effectuée dans la deuxième partie. Si la connexion est établie entre les couches basses du téléphone et le module d'extension Cordova, la méthode *onSuccessDevice()* retourne la liste des contacts (lignes 15 à 20). Sinon, la méthode *onErrorDevice()* retourne une erreur (lignes 21 à 22).

Listing 4.3 – Exemple d'une fonction d'une application hybride utilisant Cordova

```
1 \#j( '#find_contacts' ). click( function() {
2     logToConsole( "find_contacts clicked" );
3     var contactOptionsType = cordova.require(
4         "org.apache.cordova.contacts.ContactFindOptions" );
5     var options = new contactOptionsType ();
```

8. Plugin

```

6     options.filter = "";
7     options.multiple = true;
8     var fields = ["name"];
9     var contactsObj = cordova.require(
10         "org.apache.cordova.contacts.contacts");
11     contactsObj.find(fields, onSuccessDevice,
12         onErrorDevice, options);
13     });
14 });
15 function onSuccessDevice(contacts) {
16     alert('Found ' + contacts.length + ' contacts. ');
17 var element = document.getElementById ('contacts');
18 for(var i = 0; i < contacts.length; i++){
19 element.innerHTML += "Mes Contacts = " + contacts[i].name;}
20     };
21 function onErrorDevice(contactError) {
22     alert('onError! ');
23     };

```

Les avantages de cette approche sont significatifs. En effet, l'avantage principal de l'approche hybride est que le développement se fait une seule fois, respectant le principe "WORA" (Write Once Run Anywhere). C'est donc une technologie multiplateforme qui permet d'exploiter les compétences de la programmation Web [31]. Un autre avantage du développement hybride réside dans la gestion des versions. Cette technique permet la gestion d'une seule version indépendamment du nombre de plateformes sur lesquelles elle sera potentiellement déployée.

Cependant, certains inconvénients sont à prendre en compte. Le code source est plus complexe, impliquant de nombreux fichiers. La compilation se fait en de multiples étapes, ce qui peut rendre instable le fonctionnement de l'application mobile, mais aussi rendre la maintenance plus difficile.

4.3 Expérimentation et évaluation

Après avoir détaillé les types d'outils d'apprentissage mobile, il est nécessaire d'approfondir nos connaissances à propos des comportements des étudiants face aux applications mobiles, et ceci dans un contexte académique. La section qui suit concerne

alors l'expérimentation réalisée pour la conception d'une application de l'apprentissage mobile comme outil de support dans l'enseignement en informatique et génie logiciel. Nous y présentons nos démarches qui ont abouti à l'appréciation des services que les étudiants aimeraient avoir sur leurs téléphones intelligents pour les soutenir dans leur cheminement académique. Celles-ci ont été une occasion pour nous d'étudier le mode d'utilisation, d'évaluer la pertinence, et d'analyser les avantages et les désavantages de l'apprentissage mobile dans le cadre visé.

4.3.1 Méthodologie

La première phase de notre expérimentation a consisté à solliciter, par un sondage, l'avis des étudiants pour savoir comment et pourquoi ils utilisent leurs téléphones intelligents. La deuxième phase a consisté à analyser les résultats de ce sondage pour découvrir les occasions d'apprentissage informel dans l'utilisation du téléphone intelligent.

Dans la troisième phase, il s'agit de concevoir un prototype d'application mobile pour stimuler les étudiants afin qu'ils puissent nous suggérer les services qu'ils attendent de l'apprentissage mobile comme outil de support. La dernière phase est venue après l'utilisation de ce prototype d'application mobile. Il s'agissait de recueillir auprès des étudiants qui ont utilisé notre application, des suggestions et propositions de services et de types de services qui peuvent supporter l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel.

4.3.2 Étude comportementale

Pour avoir un premier aperçu général sur ce que peut être l'intérêt des étudiants dans l'usage des téléphones intelligents, nous sommes allés chercher l'opinion d'un groupe d'étudiant à l'aide d'un sondage. Il s'agissait de connaître les fonctionnalités les plus exploitées du téléphone intelligent et également de connaître les aspects les plus bénéfiques et avantageux d'une application mobile. Cette étude a donc pour principaux objectifs de :

- Connaître les différentes activités des étudiants sur le téléphone intelligent ;
- Identifier les différents types d'application qu'ils utilisent ;
- Vérifier s'ils arrivent à utiliser le site universitaire (ENA) sur leur téléphone intelligent ;

- Connaître leurs préférences et propositions pour la conception d’une application mobile dans le domaine de l’enseignement à distance.

Le questionnaire a été mis en ligne (avec l’application Lime) pour 304 étudiants inscrits au cours de programmation avancée en C++ du premier cycle de l’Université Laval, ceci pendant la session d’Hiver 2016.

Dans cet exercice, 135 étudiants ont répondu à diverses questions générales. Concernant la façon dont ils utilisent les téléphones intelligents, le tableau 4.1 montre que, de manière quotidienne, les étudiants collaborent, font des recherches et gèrent leur temps en se servant de leurs téléphones intelligents.

Usage quotidien	Pourcentage des réponses
Échange d’information avec d’autres personnes	80%
Recherche sur Internet d’information sur un sujet	77%
Être informé sur les évènements liés aux activités personnelles	65%
Gérer le calendrier et le carnet d’adresses	58%
Lectures d’articles de magazines	53%
Partages d’opinions ou de réactions sur un sujet	34%
Autres	13%

TABLE 4.1 – Réponses des étudiants sur l’utilisation quotidienne des téléphones intelligents

La figure 4.10 présente quant à elle, la fréquence de leur accès au site Web du cours. Nous pouvons alors constater qu’un bon nombre d’étudiants utilisent leurs téléphones intelligents pour consulter leurs correspondances académiques, les sites Web des cours dans l’Environnement Numérique d’Apprentissage (ENA), et pour participer à des discussions sur les forums des cours. Certains peuvent même suivre les cours à distance en mode synchrone ou asynchrone d’une manière régulière.

Enfin, le tableau 4.2 synthétise les types d’information que les étudiants recherchent en utilisant leurs téléphones intelligents. La majorité des répondants souhaitent avoir des informations administratives, des informations sur leur cheminement académique, des mises à jour, et des liens spécifiques de l’ENA sur leurs téléphones intelligents.

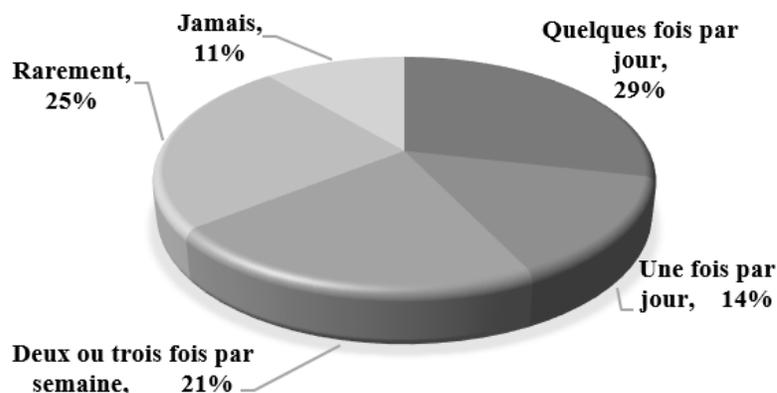


FIGURE 4.10 – Fréquence d'accès au site du cours sur téléphone intelligent

Information concernant un cours	Pourcentage des réponses
Nouvelles, mises à jour, liens spécifiques vers l'information	61%
Information sur le progrès académique	52%
Information administrative	52%
Information des associations d'étudiants	21%
Lectures d'articles de magazines	53%
Partages d'opinions ou de réactions sur un sujet	34%
Autres	8%

TABLE 4.2 – Classement par type d'information que cherchent les étudiants

En outre, ce sondage nous révèle que certains étudiants utilisent des réseaux sociaux pour discuter de la matière d'un cours. Ils affirment que l'augmentation des possibilités d'utilisation du téléphone intelligent dans l'enseignement serait une très bonne chose pour favoriser l'échange, la discussion et la collaboration.

Par ailleurs, à l'occasion de ce sondage, nous avons également obtenu plusieurs propositions et orientations pour la conception d'un outil éducatif. Il s'agissait en l'occurrence de concevoir un outil qui permet d'avoir l'horaire des cours et les locaux dans un calendrier avec les événements du calendrier universitaire, d'avoir accès aux cours à distance, aux énoncés des travaux, aux nouvelles tâches ajoutées par le professeur dans l'ENA, aux dates des remises et résultats des travaux et des examens et d'être capable de configurer des alertes...

4.3.3 Types de services de l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel

Après cette collecte d'information et de propositions auprès des étudiants, nous avons pris en compte certaines orientations pour concevoir et développer le prototype d'un outil de support en informatique et génie logiciel. Cette application mobile n'est pas présentée comme une contribution, mais plutôt comme un stimulus pour inciter les étudiants à réfléchir sur les types de services que peut offrir une application mobile pour la formation à distance afin de soutenir le processus d'apprentissage en informatique. En d'autres termes, ayant utilisé ce prototype d'application, il s'agissait d'amener les étudiants à nous suggérer les services qu'ils attendent d'un outil d'apprentissage mobile.

4.3.3.1 Conception d'un prototype

L'application mobile développée présente une interface pour l'étudiant tel que présenté dans la figure 4.11. Si l'étudiant est inscrit au cours, il est directement connecté au site Web du cours à partir de l'application mobile.



FIGURE 4.11 – Onglets de l'application GIF1003 Mobile

Cette interface comporte donc quatre onglets, soit un onglet des nouvelles du cours, un onglet des questions fréquemment posées pendant le cours (FAQ), un onglet de gestion du temps et enfin un onglet de résultats. Nous avons utilisé le modèle de conception d'onglets appelé Affichage à Onglets⁹ pour présenter et afficher ces onglets en haut de l'écran du téléphone. Le modèle d'affichage à onglets présente l'application comme une collection de sections liées ensemble sous forme d'un menu. Il permet à l'utilisateur de défiler rapidement à travers les sections et de comprendre facilement la fonctionnalité complète de l'application. La figure 4.12 montre les captures d'écran de ces différents onglets.

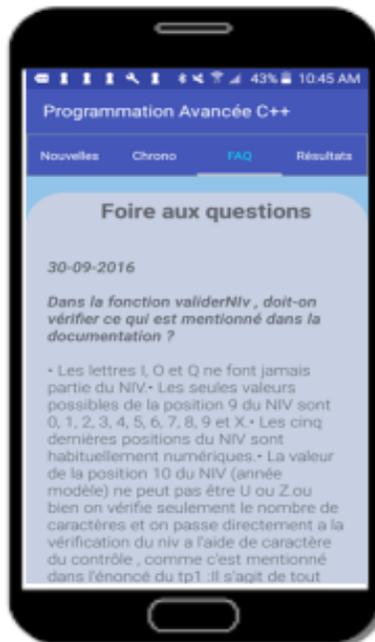
9. Tabbed View Model



(a) Onglet Nouvelles



(b) Onglet Chronomètre



(c) Onglet FAQ



(d) Onglet Résultats

FIGURE 4.12 – Présentation des différents onglets de l'application GIF1003 Mobile

L'onglet des nouvelles du cours est l'endroit où le professeur peut décrire un travail à faire, afficher des informations ou indications pour soutenir et encadrer les étudiants dans leurs travaux, ou même fournir des solutions à certains problèmes. Dans l'onglet de la gestion du temps, l'application affiche l'échéancier des travaux en cours. L'étudiant peut se servir de cet onglet pour savoir combien de temps il lui reste pour finaliser son travail. Cet onglet affiche le temps restant sous forme de barre de progression avec un message au bas de l'écran mentionnant le nombre de jours restants avant sa limite de remise. La couleur de la barre de progression passe du vert au rouge à partir du moment où la date de remise approche. Ce changement de couleur peut, par exemple être configuré à six jours avant la date de remise d'un travail. Cette fonctionnalité a pour rôle d'attirer l'attention de l'étudiant sur les tâches à réaliser avant la remise du travail. L'onglet des questions fréquemment posées concerne les problèmes techniques rencontrés lorsque les étudiants effectuent leurs travaux de programmation. C'est un endroit où ils peuvent recevoir de l'aide. Cet onglet permet à tous les étudiants d'avoir accès aux questions et réponses dans le cadre d'un travail précis. Cela facilite également la tâche au professeur lui permettant de répondre une fois aux questions qui reviendraient plusieurs fois. L'onglet des résultats consiste à afficher les résultats des évaluations. Cet onglet présente la note la plus élevée, la note la plus basse, la moyenne de la classe et la note de l'étudiant pour chaque évaluation. Ces informations permettent à l'étudiant de s'autoévaluer pour faire mieux.

Pour la mise en œuvre de l'application, le code a été développé en Java pour la plateforme Android utilisant Android Studio 2.1.2. L'interface de programmation d'applications (API) était Lollipop version 5.0. Le kit minimum de développement (SDK) était la version 21. La connexion à l'Internet est gérée dans le manifest d'Android.

4.3.3.2 Résultats

Après la conception, le développement et l'utilisation de l'application (GIF1003-Mobile), nous avons réalisé un nouveau sondage pour avoir l'avis des étudiants. Sur un total de 155 étudiants inscrits au cours de programmation avancée en C++ à la session d'automne 2016, 42 ont participé à l'exercice. Après l'expérience, nous les avons invités à répondre à ce nouveau sondage pour obtenir leurs suggestions, commentaires et leur appréciation. Précisément, son but était de recueillir auprès d'eux leurs propositions sur les services et types des services qu'ils voudraient avoir sur leurs téléphones intelligents et qui les aideraient dans leur cheminement académique.

Les réponses ont été classées et analysées pour identifier les tendances. L'analyse vise

à vérifier l'impact actuel et futur de l'utilisation d'une application mobile dans l'enseignement en informatique et génie logiciel, mais aussi à évaluer l'impact que peut avoir l'apprentissage mobile comme outil de support dans ce domaine. Les résultats tracent une image de ce qui peut être fait fréquemment avec le téléphone intelligent. Les détails des réponses sont présentés dans la figure 4.13.

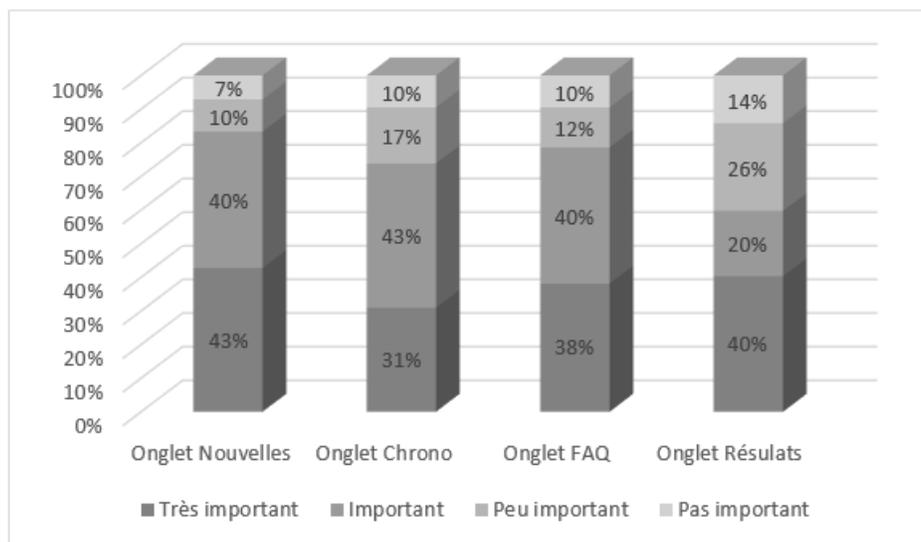


FIGURE 4.13 – Appréciation de l'application GIF1003 Mobile

La première observation que l'on peut en faire est que plus de 78% affirment l'importance de l'application mobile dans leurs études. La plupart des étudiants expriment le besoin d'une application mobile offrant un accès facile à l'information sur un cours, aux questions posées à propos des tests et diverses tâches, ainsi qu'aux réponses et aux commentaires des professeurs sur ces questions.

Par ailleurs, plusieurs d'entre eux préfèrent l'utilisation d'une application mobile pour recevoir des informations qui les motivent dans leur parcours académique. Aussi, il est remarquable que les informations qui font l'objet de mises à jour régulières en temps réel telles que les nouvelles sur le cours, les questions fréquemment posées (FAQ) ou l'arrivée d'une date limite de remise d'un travail ont beaucoup plus d'intérêt par rapport aux informations qui sont publiées à un moment précis et ne changent quasiment pas, comme les résultats des tests et des travaux. En effet, ces informations sont généralement disponibles sur l'environnement d'apprentissage numérique (site Web du cours) et sont consultées à des occasions souvent annoncées.

Aussi, plusieurs des répondants ont signifié qu'ils voulaient également que l'application

mobile affiche le détail sur différentes tâches qui sont en cours, ou les résultats des tests et travaux passés. Bien que les initiatives d'une application d'apprentissage mobile à l'Université Laval restent récentes, les répondants pouvaient en apercevoir les avantages. Une grande majorité des répondants ont trouvé très important l'accès aux nouvelles du cours, aux questions fréquemment posées, ainsi qu'à l'affichage des jours restant pour la remise des travaux en cours. Dans leur évaluation de l'application mobile, seulement 60% ont trouvé très important l'accès aux résultats d'un travail passé.

4.3.4 Discussion

D'une façon générale, il est à souligner que les étudiants sont plus intéressés par une application mobile qui fournit des informations qui arrivent en flux continu pour les aider dans leurs travaux quotidiens. Ceci parce qu'ils ne veulent pas consulter deux fois la même information, mais aussi parce qu'ils veulent avoir les informations nécessaires dès qu'elles sont disponibles.

Bien que certains aient mentionné que l'affichage des résultats des tests et travaux n'était pas important, un bon nombre le voient comme une valeur ajoutée pour contrôler leur progrès académique. En effet, avoir accès à ses résultats offre à la fois le bénéfice de se positionner par rapport à toute la classe et de se stimuler à mieux faire.

En outre, les réponses des étudiants ont montré un besoin important d'offrir la possibilité de modifier l'interface graphique en fonction de leurs besoins et de configurer des alertes, par exemple, afin de prévenir que, dans tel nombre de jours, tel travail doit être remis. Ces réponses corroborent notre étude préliminaire sur la possibilité de personnaliser l'application mobile en fonction des intérêts et choix de l'apprenant. En effet, la personnalisation permet de contrôler l'apprentissage et d'en faire une expérience active dans laquelle l'apprenant trouve sa place, non pas comme un consommateur passif, mais comme un coproducteur d'informations.

Néanmoins, selon les données obtenues à travers le sondage envoyé aux étudiants sur l'utilisation de l'application, le taux de participation apparaît relativement bas. Deux raisons majeures sont à mentionner. Premièrement, l'expérience exigeait l'installation d'une application mobile sur le téléphone. Deuxièmement, l'application était native et conçue seulement pour les téléphones avec système d'exploitation Android. Par ailleurs, nous avons perdu des participants à cause du mode de déploiement que nous avons utilisé. En effet, nous n'avons pas utilisé **Google Pay** pour télécharger et installer l'application. Celle-ci était distribuée moyennant un lien sur le site du cours. Comme

les téléphones Android sont bloqués pour toute application en dehors de **Google Pay**, il fallait modifier les paramètres du téléphone pour activer l'option « source inconnue » et permettre l'installation, ce qui aurait incité certains étudiants à ne pas accepter de le faire. Aussi, certains étudiants avaient une version Android ancienne et incompatible avec les API utilisées par l'application.

En plus de cette difficulté de déploiement, nous avons aussi la difficulté de portabilité liée au système d'exploitation. En effet, l'application n'était pas portable, car conçue seulement pour les téléphones qui ont le système Android. Ceux qui avaient des téléphones avec d'autres systèmes d'exploitation ne pouvaient pas utiliser l'application.

4.4 L'architecture hybride pour les applications multiplateformes d'apprentissage mobile

Dans le but de concevoir l'apprentissage mobile comme outil de support en informatique et génie logiciel, comme nous avons pu le constater dans notre expérimentation, la portabilité et la personnalisation des applications d'apprentissage sont les critères essentiels. La problématique est alors de savoir quelle architecture et quel type d'application développer pour y répondre.

Aussi, après avoir étudié les différents types d'applications (Web, natif et hybride), le constat est que les applications Web offrent une bonne portabilité avec l'actuel développement de la technologie Web (HTML5, CSS3 et Bootstrap). Néanmoins, ces applications sont peu personnalisables parce qu'elles ont un accès limité aux fonctionnalités du téléphone intelligent. Pour pallier cette limitation, une solution consiste à se tourner vers le développement des applications natives qui répond parfaitement au besoin de personnalisation. Cependant, ces applications natives ne sont pas portables. En effet, comme mentionné plus haut, le développement des applications natives exige de produire une même application sur différents systèmes utilisés (Android, iOS, Windows...). Ce travail est couteux en termes de ressources humaines et financières.

Nous nous orientons donc vers le développement des applications hybrides. En effet, elles sont portables et personnalisables parce que, comme les applications natives, elles accèdent aux fonctionnalités natives du téléphone à l'aide des infrastructures logicielles.

Il existe plusieurs façons de concevoir et développer des applications hybrides. Une des solutions consiste à utiliser la technique de cross-compilation [17]. Dans cette tech-

nique, la conception et le développement de l'application sont faits indépendamment du terminal de manière à découpler la source de la cible. Le développement consiste à utiliser une infrastructure logicielle qui fournit une API indépendante faite par un langage de programmation courant (JavaScript, Ruby, ou Java...). Les développeurs utilisent cette API pour créer l'application mobile, y compris l'interface utilisateur, la persistance des données et la logique d'affaires. L'exécutable de l'application est généré à l'aide d'un cross-compileur qui produit une application spécifique pour chaque plateforme. Celle-ci peut alors être déployée et exécutée nativement sur le téléphone intelligent [19].

Aussi, Apache Cordova est une infrastructure logicielle de développement mobile open source qui utilise la technique de cross-compilation. Il permet d'exploiter les technologies Web courantes telles que HTML5, CSS3 et JavaScript pour développer des applications multiplateformes, évitant ainsi l'utilisation des langages natifs propres aux différentes plateformes mobiles. Cordova/PhoneGap est essentiellement une enveloppe qui permet aux développeurs d'encapsuler l'application écrite dans un langage de programmation connu et compatible avec plusieurs plateformes mobiles pour générer une application mobile hybride [45]. Cordova/PhoneGap est constitué pour chaque système, en l'occurrence iOS, Android ou Microsoft, d'une couche de modules d'extension qui rendent disponible la manipulation des fonctions natives.

Cordova offre une architecture assez complexe, mais aussi puissante pouvant produire des applications hybrides pour un apprentissage mobile efficace. Le point fort de l'architecture Apache Cordova est l'intégration des différents modules d'extension. Les principaux modules d'extension sont Angular et Ionic. Dans cette architecture, le module d'extension Ionic se charge de l'apparence ou la présentation de l'application. Il est celui qui gère l'interface utilisateur [31]. Angular joue le rôle d'organiser le flux d'interaction entre l'utilisateur et l'application. C'est grâce à ce module d'extension que nous pouvons utiliser différents styles architecturaux comme le MVC, le MVP, et le MVVM [48].

Voici comment ce module d'extension peut intervenir dans le développement d'une application hybride. Nous utilisons le style architectural MVVM dans cette illustration pour présenter à la fois la séparation des responsabilités entre les couches, mais aussi et surtout pour montrer la liaison des données de différents objets de manière à garantir leur synchronisation. Rappelons-nous qu'avec le style MVVM nous avons les trois notions suivantes :

- Le Modèle qui représente la forme des données. Cela peut être tout objet qui décrit les entités de la Vue.
- La Vue est ce qui représente les éléments de l'interface utilisateur : les zones de saisie, les listes déroulantes...
- Le VueModèle est la partie de la logique spécifique à l'interface utilisateur.

Le listing 4.4 présente l'exemple illustrant le fonctionnement de cette architecture. Supposons une application qui contient la fonctionnalité de multiplier deux entiers. Elle aura les champs de saisie de deux entiers et le champ de l'affichage du produit.

Listing 4.4 – Architecture MVVM dans une application hybride

```

1 <form ng-controller="ProduitController">
2   <label>Nombre1 :</label> <input name="nombre1"
3     ng-change="multiplier()" ng-model="data.nombre1">
4   <label>Tu veux multiplier :</label> {{data.nombre1}} <br>
5   <label>Nombre2 :</label> <input name="nombre2"
6     ng-change="multiplier()" ng-model="data.nombre2">
7   <label>Par :</label> {{data.nombre2}} <br>
8   <label>Produit :</label> {{data.produit}}
9 </form>
10 </body>
11 <script>
12   function ProduitController($scope) {
13     $scope.data = {nombre1: 0, nombre2: 0, produit: 0};
14     $scope.multiplier = function () {
15       $scope.data.produit =
16       $scope.data.nombre1 * $scope.data.nombre2;
17     }
18   }
19 </script>

```

Comme nous le voyons, le code contient deux zones de saisie (Nombre1 et Nombre2) qui prennent deux nombres. Le résultat de la multiplication est affiché devant l'étiquette **Produit**. Le style architectural MVVM est alors implémenté comme dans la figure 4.14.

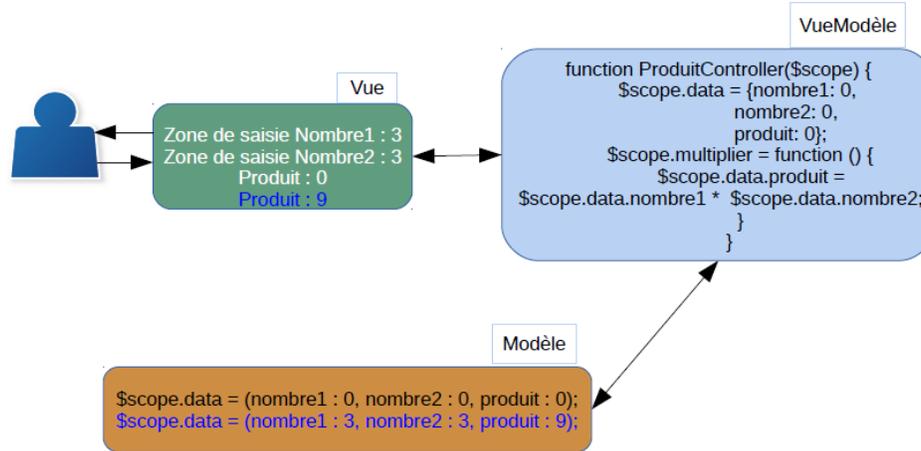


FIGURE 4.14 – Utilisation du style MVVM dans la conception d’une application hybride

Le diagramme montre la séparation en Modèle, Vue et VueModèle. La Vue est celle qui contient les zones de saisie et d’affichage que nous mettons à jour en saisissant un nombre dans ces zones. La logique de l’application est ce qui se passe dans le VueModèle ; c’est-à-dire la multiplication des deux nombres qui se fait dans la fonction *\$scope.multiplier = fonction()*. Dès que le changement est fait dans la Vue, le VueModèle en prend connaissance et effectue la multiplication. Les valeurs de *nombre1*, *nombre2* et *produit* sont ensuite mises à jour dans le Modèle après l’opération. Lorsque la valeur de *produit* change dans le Modèle, la Vue est mise à jour automatiquement avec la connexion par liaisons des données et le résultat de la multiplication est affiché dans la Vue.

En outre, Apache Cordova prend en charge un ensemble de modules d’extension par défaut appelés modules d’extension de base [5]. Ces différents modules d’extension sont importants dans la configuration des accès aux ressources et fonctionnalités natives comme la caméra, les contacts, l’accéléromètre, le système de gestion des fichiers, la géolocalisation, etc. En plus de ces modules d’extension de base, il existe également des modules d’extension indépendants, tels que présentés par la figure 4.15 (développés par des membres tiers de la communauté Cordova). Ils fournissent des fonctionnalités supplémentaires qui ne sont pas disponibles sur toutes les plateformes. Ces modules d’extension sont appelés modules d’extension personnalisés [5].

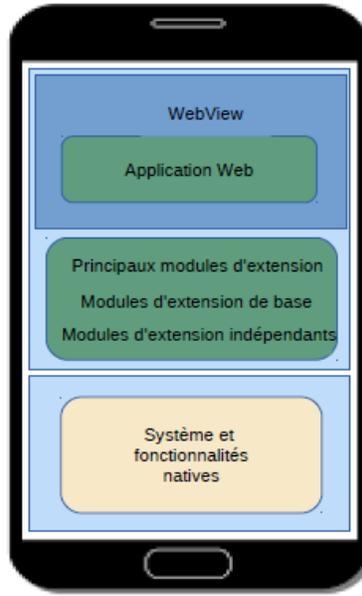


FIGURE 4.15 – Présentation globale de l’architecture hybride avec Cordova

Un module d’extension Cordova est composé d’un contrat JavaScript définissant les fonctions qui seront exposées à l’application Web, et d’une implémentation par la plateforme [31]. À la génération d’une application, Cordova fournit l’implémentation correspondant à la plateforme cible, ce qui permet d’avoir la même application sur toutes les plateformes.

La figure 4.16 montre la vue détaillée d’une architecture de l’application hybride avec Cordova. L’application développée avec Cordova peut être subdivisée en trois grandes parties : la partie de l’application, la partie des modules d’extension et celle qui est native au téléphone. L’application est lancée dans un WebView qui est une coquille native au téléphone [5]. Pour communiquer avec les fonctionnalités natives, le WebView utilise les modules d’extension [31]. Ils constituent le pont entre l’application Cordova et les composants natifs pour accéder aux API natives standards. Ces modules d’extension permettent d’accéder aux fonctionnalités du téléphone telles que la caméra, les contacts . . .

Par ailleurs, les applications mobiles hybrides développées avec l’infrastructure Cordova sont construites de la même manière que les applications Web. Les deux utilisent une combinaison de technologies comme HTML, CSS et JavaScript. La différence est que, au lieu de cibler un navigateur mobile, ces applications visent un WebView qui est un conteneur natif qui interprète le code Web et facilite l’accès aux fonctionnalités du

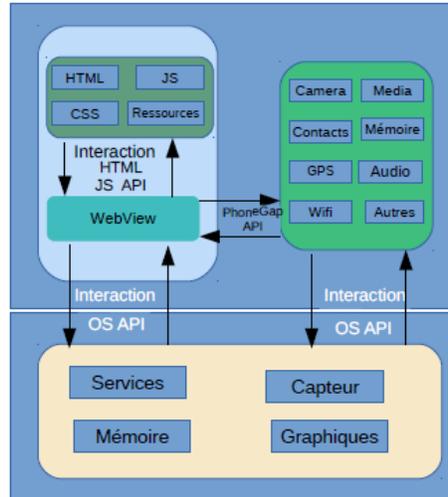


FIGURE 4.16 – Vue détaillée de l’architecture hybride avec Cordova

périphérique mobile [35, 45].

Aussi, comme une application Web ne peut pas accéder aux informations du téléphone intelligent de la même manière qu’une application native, pour contourner ce manque, Cordova offre un mécanisme de modules d’extension permettant au code JavaScript de faire appel à la partie native [45]. La figure 4.17 présente le processus standard d’appel d’un module d’extension pour l’exécution d’une tâche.

Le flux d’accès aux ressources du périphérique par les modules d’extension est alors le suivant :

1. Cordova détermine s’il y a une méthode JavaScript qui appelle un module d’extension pour obtenir son service.
2. S’il y a une méthode JavaScript qui fait appel à un module d’extension, l’application Cordova démarre l’exécution du module d’extension et appelle l’API JavaScript.
3. S’il n’y a pas de méthode JavaScript qui fait appel à un module d’extension, la partie JavaScript complète l’exécution.
4. Cordova détermine si l’URL est en liste blanche, c’est-à-dire prête à être utilisée.
5. Lorsque l’URL est prête, l’application Cordova démarre l’exécution du module d’extension Java et appelle la méthode Java correspondant à l’API JavaScript.
6. Lorsque l’URL n’est pas prête, le module d’extension JavaScript complète l’exécution.
7. L’application Cordova accède aux ressources du périphérique (caméra par exemple)

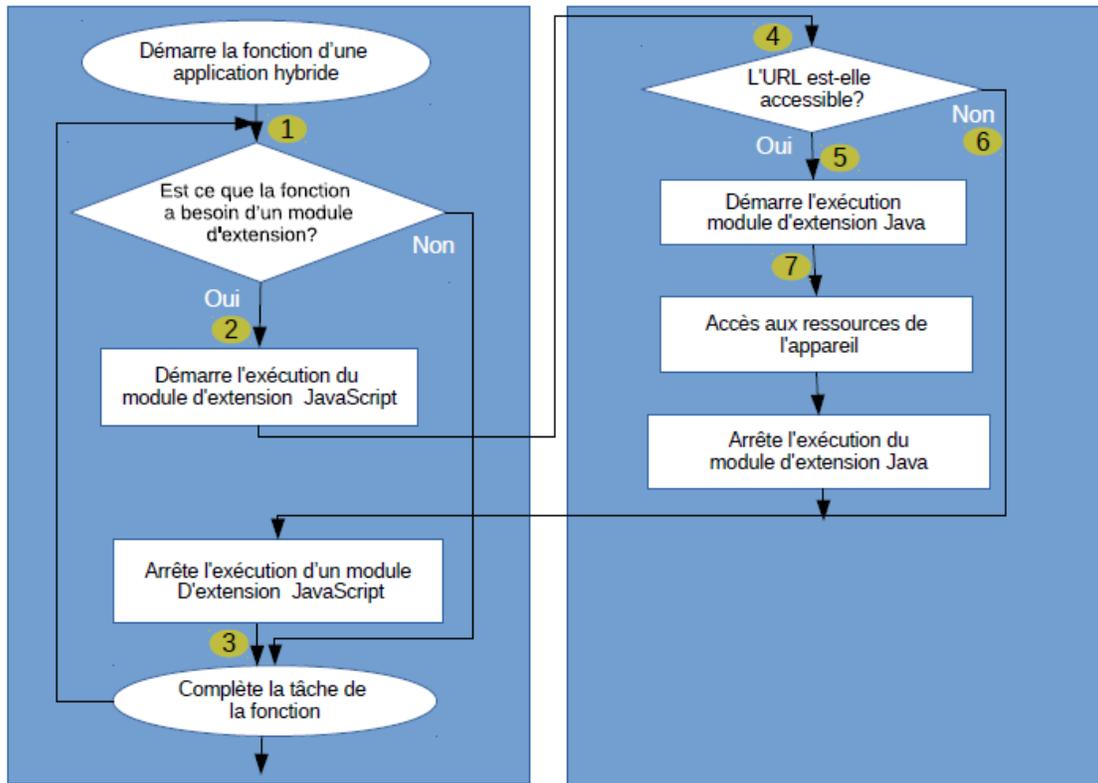


FIGURE 4.17 – Processus d’exécution d’une application hybride pour l’appel des modules d’extension

à l’aide du module d’extension Java et passe le résultat au module d’extension JavaScript qui complète l’exécution.

Le code présenté dans le listing 4.5 illustre ce processus. C’est un exemple d’utilisation du module d’extension de la géolocalisation. Les sources d’informations de localisation de ce module d’extension comprennent le système de positionnement global (GPS) et la localisation déduite des signaux de réseau tels que l’adresse IP, RFID, les adresses MAC WIFI et Bluetooth et les identifiants GSM/CDMA . Supposons qu’un utilisateur veuille savoir sa position actuelle et veuille se servir de la fonctionnalité de géolocalisation sur son téléphone intelligent. L’application va s’appuyer sur le module d’extension de géolocalisation pour détecter sa position actuelle. Le module d’extension va alors utiliser sa méthode *getCurrentPosition()* qui prend en paramètres deux retours d’appel : le premier, *geolocationOnSuccess()*, est appelé lorsque tous les paramètres de géolocalisation sont bien configurés. Le second, *geolocationOnError()*, est appelé lors d’un échec.

Dans son exécution, ce module d’extension définit un objet global *navigator.geolocation*.

Bien que cet objet soit dans la portée globale, les fonctionnalités fournies par le module d'extension ne sont disponibles que si le périphérique est prêt. A l'appel de la méthode `navigator.geolocation.getCurrentPosition()`, elle implémente ses deux retours d'appel (lignes ...). Le retour d'appel `geolocationOnSuccess()` renvoie la position actuelle du périphérique avec un objet `position` en paramètre. L'objet `position` est constitué de la latitude et de la longitude (lignes ...). Le retour d'appel `geolocationOnError()` renvoie un message d'erreur (lignes ...).

Listing 4.5 – Exemple d'utilisation du module d'extension de la géolocalisation

```
1 function onDeviceReady(){
2   function trouverPosition() {
3     var options = {
4       maxTemps: 36000
5     }
6     navigator.geolocation.getCurrentPosition(
7       geolocationOnSuccess, geolocationOnError);
8     function geolocationOnSuccess(position) {
9       alert('Votre position actuelle:' +
10        '\n-----'+
11        '\nLatitude: ' + position.coords.latitude +
12        '\nLongitude: ' + position.coords.longitude );
13    };
14    function geolocationOnError(erreur) {
15      alert('\ncode: ' + erreur.code +
16        '\nmessage: ' + erreur.message );
17    }
18  }
19 }
```

4.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'implémentation de l'apprentissage mobile comme outil de support surtout en informatique et génie logiciel. Nous avons décrit plusieurs styles architecturaux dans le but de pouvoir développer des applications personnalisables pour l'apprentissage mobile. Il s'avère que le modèle du Modèle-Vue-Modèle (MVVM) présente une meilleure séparation des tâches entre différentes couches de l'application.

Nous avons ensuite présenté différents types d'application de façon à concevoir et développer des outils d'apprentissage mobile. Les applications Web sont des outils stockés sur un serveur et accessibles à partir d'un navigateur Web mobile. Les applications natives sont des outils installés sur le téléphone intelligent et qui exploitent toutes les fonctionnalités du téléphone intelligent. Les applications hybrides sont celles qui permettent de garder la logique des technologies Web et, en même temps, d'intégrer différents systèmes d'exploitation des téléphones intelligents. Ces applications sont développées en langage de programmation Web et sont compatibles avec différents systèmes d'exploitation grâce à une infrastructure logicielle qui facilite l'accès aux fonctionnalités natives du téléphone intelligent.

Ayant ainsi une bonne connaissance des différents styles architecturaux, de l'architecture à adopter pour favoriser l'interopérabilité et des types d'applications possibles pour développer des applications mobiles pour supporter l'apprentissage mobile en informatique et génie logiciel, il s'agissait d'approfondir nos connaissances sur les manières dont les étudiants se servent des applications mobiles dans le contexte académique. Pour atteindre ce but, nous avons d'abord organisé un sondage avec un groupe d'étudiants pour découvrir le comportement éducatif informel avec un téléphone intelligent. Ce sondage a révélé qu'un bon nombre d'étudiants utilise le téléphone intelligent pour consulter des correspondances académiques et visiter les sites Web des cours dans l'Environnement Numérique d'Apprentissage (ENA).

Après cette étude comportementale, nous avons conçu et développé un prototype d'application mobile d'apprentissage. Ce prototype nous a servi de stimulus pour interroger les étudiants et identifier les types de services qu'ils aimeraient avoir sur leurs téléphones intelligents pour les soutenir dans leur cheminement académique. L'expérimentation mise en œuvre nous a alors permis de découvrir les préférences des étudiants dans l'utilisation des applications mobiles d'apprentissage. Nous avons par ailleurs pu constater que les étudiants sont plus intéressés à recevoir des informations qui arrivent en flux continu sous forme d'aide, de rappel, de mise à jour . . . Ce constat vient soutenir notre modèle conceptuel de l'apprentissage mobile comme outil de support.

Cette expérimentation a également permis de mettre en évidence les contraintes imposées aux applications par l'apprentissage mobile en termes de style d'architecture et de type d'application. En effet, suite à l'expérience de déploiement de notre prototype d'application GIF1003 Mobile, nous nous sommes orientés vers le développement des applications hybrides. Aussi nous avons montré le fonctionnement de l'architecture

hybride en utilisant l'infrastructure Apache Cordova pour produire des outils d'apprentissage à la fois personnalisables et portables. Il faut cependant rester conscient qu'avec l'architecture hybride on devient dépendant d'un logiciel tiers, l'infrastructure logicielle – par exemple Cordova/Phonegap – et donc de sa compatibilité avec les nouvelles versions des systèmes d'opération.

Chapitre 5

Conclusion

Dans ce travail, nous avons présenté un modèle de l'apprentissage mobile pour l'enseignement à distance en informatique et génie logiciel. Il est à noter que l'une des stratégies d'apprentissage qui émergent dans l'enseignement à distance est l'apprentissage mobile. Ce style d'apprentissage a actuellement une grande variété de plateformes qui offrent des environnements d'apprentissage de plus en plus utilisés. Différentes façons d'apprendre naissent avec ce nouveau style. Aussi, il est connu que l'un des grands défis en programmation est la collaboration et la communication dans une équipe. Il est donc pertinent de s'interroger sur l'apport des outils d'apprentissage mobile et sur les bonnes manières de s'en servir de façon à faciliter la communication et l'accès à l'information. Bref, il est important de savoir comment l'apprentissage de l'informatique peut être pris en charge par les téléphones intelligents pour améliorer la performance des étudiants.

Le deuxième chapitre a été consacré principalement à la présentation de l'apprentissage mobile dans le domaine de l'éducation en général, puis en particulier dans l'enseignement à distance. Nous nous sommes concentrés sur le potentiel de ce nouveau style d'apprentissage. Ainsi, il en ressort que l'apprentissage mobile favorise l'implication des étudiants dans leur processus d'apprentissage et permet de développer des compétences de découvrir par soi-même dans un environnement de collaboration et d'échange. Nous avons également présenté les types d'outils qui existent déjà pour faciliter cet apprentissage mobile. Nous avons ensuite souligné le potentiel des technologies et applications mobiles en matière de transportabilité, de connectivité et d'accès à une variété de contenu d'apprentissage.

La transportabilité implique la possibilité d'apprendre en mouvement et de poursuivre

son activité à distance partout où on se retrouve. La connectivité fait référence à la capacité des téléphones intelligents d'être connectés continuellement à l'Internet par la connexion Wifi et par la connexion des réseaux cellulaires. L'accès au contenu veut dire la possibilité de se servir des fonctionnalités natives du téléphone intelligent comme la caméra et le microphone pour produire et consommer du contenu varié.

Le troisième chapitre a présenté un modèle de l'apprentissage mobile pouvant servir de support dans l'apprentissage à distance spécifiquement en informatique et en génie logiciel. Pour arriver à ce modèle, nous avons d'abord présenté un modèle général de l'apprentissage mobile. Nous avons ensuite décrit les caractéristiques des applications mobiles d'apprentissage. Nous avons analysé certaines caractéristiques qui accompagnent l'apprentissage mobile et font de ce style d'apprentissage un outil de support efficace. Il s'agit en l'occurrence de la mobilité, de la portabilité, de la personnalisation, de l'accessibilité, de la flexibilité et de la participation.

En effet, en termes de mobilité, l'apprentissage mobile est un outil d'apprentissage disponible à toutes les opportunités indépendamment du temps et du lieu. La portabilité désigne la capacité d'une application mobile d'apprentissage de fonctionner sur plusieurs plateformes de façon à inclure une large population. La caractéristique de la personnalisation offre à l'apprenant la responsabilité d'utiliser son outil d'apprentissage et de décider du « comment », du « quand » et du « quoi » apprendre. L'accessibilité vise à rendre l'application mobile d'apprentissage facile à utiliser. La flexibilité, quant à elle, indique la capacité de tolérance des distractions pendant l'utilisation. Avec la caractéristique de la participation, l'apprentissage mobile donne à l'apprenant la possibilité de générer des connaissances dans un style d'apprentissage plus ouvert, collaboratif et encourageant.

Puis nous avons montré que l'apprentissage mobile est un style d'apprentissage qui donne accès au contenu qui peut être affiché de plusieurs façons. Et nous avons présenté les types d'applications d'apprentissage que nous pouvons rencontrer en informatique et génie logiciel. Nous avons montré quelques tentatives d'utiliser le téléphone intelligent comme outil de programmation. En effet, il existe plusieurs applications mobiles de programmation et plusieurs exécuteurs de code offerts via Internet. Cependant, nous avons aussi montré que ces efforts sont entravés par des blocages actuellement difficiles à contourner. Parmi ces blocages on peut citer entre autres la configuration de l'environnement de développement intégré (IDE), l'intégration du système de contrôle de version (VCS), l'affichage sur multiples écrans, etc. Tenant compte de ces limites,

l'apprentissage mobile devrait être envisagé comme un outil de support dans l'apprentissage à distance en informatique et génie logiciel. Nous en avons alors proposé un modèle conceptuel.

Dans ce modèle, nous avons premièrement représenté les caractéristiques de l'apprentissage mobile comme outil d'apprentissage. Ensuite, nous avons évoqué les avantages qu'apportent les applications mobiles dans l'apprentissage mobile. Puis, nous avons mentionné les différents types de contenu auxquels l'apprentissage mobile offre une accessibilité. Enfin, nous avons souligné l'importance de la facilité, de la rapidité et de la ponctualité dans l'accession au contenu. Ce modèle permet d'évaluer les potentialités du téléphone intelligent vis-à-vis du service que nous attendons de lui dans l'apprentissage mobile. Il permet également de mieux comprendre le rôle de l'apprentissage mobile comme outil de support dans le domaine de l'informatique et génie logiciel.

Le chapitre quatre a été consacré à la mise en œuvre de l'apprentissage mobile comme outil de support. Nous avons premièrement présenté différents modèles architecturaux qui peuvent intervenir dans la gestion de la communication entre différentes parties d'une application. Nous avons décrit les modèles MVC, le MVP, le MVVM. Le point commun entre ces trois modèles est la séparation des tâches dans l'architecture d'une application mobile. Nous avons souligné que le Modèle-Vue-Modèle (MVVM) permet une meilleure communication entre les différentes couches de l'application grâce à la liaison des données. Cette présentation nous a permis d'envisager une implémentation de l'apprentissage mobile capable de promouvoir la personnalisation de l'apprentissage.

Nous avons ensuite présenté différents types d'application de façon à concevoir et développer des outils d'apprentissage mobile. Ainsi nous pouvons rappeler que les applications Web sont des outils stockés sur un serveur et accessibles à partir d'un navigateur mobile. Avec le design adaptatif, les applications Web sont de plus en plus portables parce qu'elles peuvent s'adapter sur plusieurs tailles d'écran. Néanmoins, elles sont peu personnalisables. Les applications natives sont des outils installés sur le téléphone intelligent et exploitent toutes les fonctionnalités du téléphone intelligent. Ces applications sont très personnalisables, mais peu portables. Les applications hybrides sont des outils développés dans le langage de programmation Web à l'aide d'une infrastructure logicielle qui les rend compatibles avec différents systèmes de téléphones intelligents. Ces applications hybrides sont également installées sur le téléphone intelligent et peuvent profiter de ses fonctionnalités natives. Cette technologie permet de produire des applications à la fois personnalisables et portables.

La partie expérimentale a suivi cette présentation détaillée des types d'outils d'apprentissage mobile. Dans cette partie nous avons présenté les démarches qui nous ont permis d'identifier les services que les étudiants préfèrent avoir sur leurs téléphones intelligents dans le but de les soutenir dans leur croissance académique.

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes consacrés à développer un prototype d'application mobile (GIF1003 Mobile), une application native compatible avec le système Android. Cette application mobile nous a servi de stimulus pour susciter les étudiants à découvrir et exprimer les intérêts et avantages d'une application mobile dans leur cursus éducatif, mais aussi à proposer les types de services nécessaires dans la formation à distance surtout en informatique et génie logiciel. Il s'avère alors que les étudiants sont plus intéressés par une application mobile qui fournit des informations qui arrivent en flux continu pour les aider dans leurs travaux quotidiens.

Partant de ces observations et de la présentation détaillée des types d'outils d'apprentissage mobile, nous avons proposé une architecture hybride de conception d'applications mobiles qui seraient multiplateformes et personnalisables. Notre choix est motivé par la portabilité et la personnalisation d'une application mobile d'apprentissage. Nous avons montré des exemples de cette architecture hybride en utilisant l'infrastructure Apache/Cordova et avons montré la possibilité d'utiliser le style MVVM dans une architecture hybride. En effet, le style MVVM permet une meilleure séparation des tâches entre les différentes couches de l'application et favorise ainsi une meilleure implémentation des fonctionnalités de personnalisation grâce au mécanisme de liaison des données.

Par ailleurs, une architecture hybride permet de produire des applications hybrides qui sont, à la fois portables parce qu'elles peuvent être installées sur différentes plateformes et personnalisables parce que, comme les applications natives, elles sont installées sur le téléphone intelligent et accèdent ainsi aux fonctionnalités natives du téléphone à l'aide des infrastructures logicielles.

5.1 Contributions

La première contribution de cette recherche est la démonstration selon laquelle l'apprentissage mobile devrait être vu comme un outil de support plutôt qu'un mode d'enseignement à part entière, surtout dans l'enseignement à distance en informatique et génie logiciel. En effet, dans l'enseignement en informatique et génie logiciel, l'ordinateur reste encore l'outil principal. L'apprentissage mobile peut alors jouer le rôle de

faciliter l'accès aux ressources nécessaires dans l'apprentissage. Il facilite la coordination des activités d'une équipe, la collaboration et la communication pour recevoir des mises à jour, répondre aux questions et vérifier les notifications.

Pour étendre cet apport, nous avons fait une analyse des concepts de cette conception de l'apprentissage mobile. Nous avons défini ses mots clefs, analysé ses caractéristiques et avons étudié son mode d'utilisation en tenant compte des avantages et désavantages des téléphones intelligents. Cette analyse des concepts nous a conduit à concevoir et proposer un modèle conceptuel de l'apprentissage mobile comme outil de support en informatique et génie logiciel.

Aussi, nous avons présenté et publié nos résultats sur les aspects essentiels de l'apprentissage mobile comme complément au processus d'apprentissage en informatique et génie logiciel dans la 45e conférence de la Société Européenne pour la Formation des Ingénieurs (SEFI) [25]. Enfin, nous avons proposé une architecture qui combine le modèle MVVM avec l'architecture hybride pour développer des applications mobiles à la fois personnalisables, réutilisables et portables. Notre étude est une étape dans un effort plus large visant à développer un modèle de l'apprentissage mobile comme outil de support dans l'apprentissage en informatique et génie logiciel.

5.2 Perspectives

La communauté des développeurs a assisté ces dernières années à un important changement de paradigme dans la manière de collaborer et de participer aux projets de chacun dans un environnement d'apprentissage mutuel. Fournir une rétroaction instantanée entre apprenants est au centre du développement du modèle d'apprentissage mobile comme outil de support en informatique et génie logiciel. La collaboration figure parmi les pistes de recherches les plus importantes pour étendre ces travaux de manière à développer l'apprentissage « juste à temps ».

Ainsi, il est nécessaire de comprendre dans quelle mesure l'apprentissage mobile peut créer un environnement d'apprentissage actif. Comment l'apprentissage mobile collaboratif peut-il développer des attitudes d'équipe dans la résolution des problèmes tout en maintenant la responsabilité individuelle ? Comment peut-il aider les étudiants à clarifier leurs idées par le partage, la discussion et le débat et à encourager la compréhension dans la diversité ?

Par ailleurs, il est aussi important de comprendre l'utilisation des différentes applica-

tions mobiles de collaboration en informatique. Il s'agit de comprendre comment les développeurs utilisent les outils de collaboration pour établir des mécanismes de coordination entre les membres de l'équipe.

Sous ce même angle d'idée, il est nécessaire de connaître les forces et les faiblesses des différents outils de collaboration. Il est aussi nécessaire d'étudier les modes de collaboration tels que : la collaboration privée versus publique ; synchrone versus asynchrone ; anonyme versus identifiée ; momentanée versus archivée . . . afin de façonner les activités d'un apprentissage participatif.

Bibliographie

- [1] Z AL-KHANJARI, K AL-KINDI, A AL-ZIDI et Y BAGHDADI : M-learning : The new horizon of learning at SQU. *The Journal of Engineering Research (TJER)*. SQU, 11(2):15–26, 2014.
- [2] Fred D BARNHART et Jeannette E PIERCE : Becoming mobile : Reference in the ubiquitous library. *Journal of Library Administration*, 52(6-7):559–570, 2012.
- [3] Razieh BARZEGAR : Revolution in e-learning by the modern educational model in mobile learning. *Journal of Advances in Computer Engineering and Technology*, 2:1, 2016.
- [4] A. S. bin HASHIM, W. F. W. AHMAD et R. B. AHMAD : Architecture and UML models of mobile learning application for course content. *In 2010 International Symposium on Information Technology*, volume 1, pages 1–6, june 2010.
- [5] Stefan BOSNIC, Ištvan PAPP et Sebastian NOVAK : The development of hybrid mobile applications with Apache Cordova. *In Telecommunications Forum (TELFOR)*, 2016 24th, pages 1–4. IEEE, 2016.
- [6] A. BRALIĆ, M. ĆUKUŠIĆ et M. JADRIĆ : Comparing MOOCs in m-learning and e-learning settings. *In 2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pages 979–985, may 2015.
- [7] M. CAEIRO-RODRIGUEZ, J. GONZALEZ-TATO et M. LLAMAS-NISTAL : Experiencing a web-based audience response system in engineering lectures. *In Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2013 IEEE, pages 513–519, march 2013.
- [8] Luigi COLAZZO, Andrea MOLINARI et Nicola VILLA : Introducing time management services into virtual communities and e-learning systems : a case study. *In*

- Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011 IEEE*, pages 1053–1060. IEEE, 2011.
- [9] M. Á. CONDE et F. J. García-Pe NALVO : Application of a mobile personal learning environment to a computer science subject. *In 2013 1st International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE)*, pages 1–6, oct 2013.
- [10] André Constantino da SILVA, Fernanda Maria Pereira FREIRE, Vitor Hugo Miranda MOURÃO, Márcio Diógenes de Oliveira da CRUZ et Heloísa Vieira da ROCHA : Portability and usability of open educational resources on mobile devices : A study in the context of Brazilian educational portals and android-based devices. *International Association for Development of the Information Society*, 2014.
- [11] Uvasara DISSANAYEKE, Ashintha PERERA, K.P. HEWAGAMAGE et G.N. WIKRAMANAYAKE : Mobile based collaborative learning tool to facilitate instructor-mediated informal learning in agriculture. *In Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), 2015 Fifteenth International Conference on*, pages 99–105, aug 2015.
- [12] Nemésio Freitas DUARTE FILHO et Ellen Francine BARBOSA : A contribution to the establishment of reference architectures for mobile learning environments. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 10(4):234–241, 2015.
- [13] Tuncay ERCAN : Effective use of cloud computing in educational institutions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2):938–942, 2010.
- [14] Huber FLORES et Satish SRIRAMA : Adaptive code offloading for mobile cloud applications : Exploiting fuzzy sets and evidence-based learning. *In Proceeding of the fourth ACM workshop on Mobile cloud computing and services*, pages 9–16. ACM, 2013.
- [15] Sergio GÓMEZ, Panagiotis ZERVAS, Demetrios G SAMPSON et Ramón FABREGAT : Context-aware adaptive and personalized mobile learning delivery supported by uolmp. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 26(1):47–61, 2014.
- [16] L. HANLEY, T.O.C. AIK, R.W.K. KHENG et Lim See YEW : A study on the academic uses of Facebook in vocational education. *In Educational Media (ICEM), 2013 IEEE 63rd Annual Conference International Council for*, pages 1–8, oct 2013.

- [17] Gustavo HARTMANN, Geoff STEAD et Asi DEGANI : Cross-platform mobile development. *Mobile Learning Environment, Cambridge*, 16(9):158–171, 2011.
- [18] A. S. HASHIM, W. F. W. AHMAD et R. AHMAD : Mobile learning course content application as a revision tool : The effectiveness and usability. *In 2011 International Conference on Pattern Analysis and Intelligence Robotics*, volume 2, pages 184–187, june 2011.
- [19] Henning HEITKÖTTER, Sebastian HANSCHKE et Tim A. MAJCHRZAK : *Evaluating Cross-Platform Development Approaches for Mobile Applications*, pages 120–138. Springer berlin Heidelberg, berlin, Heidelberg, 2013.
- [20] A. HOLZINGER, A. NISCHELWITZER et M. MEISENBERGER : Mobile phones as a challenge for m-learning : examples for mobile interactive learning objects (milos). *In Pervasive Computing and Communications Workshops, 2005. PerCom 2005 Workshops. Third IEEE International Conference on*, pages 307–311, march 2005.
- [21] IDC : International data corporation. <http://www.idc.com/>, july 2012. [consulté en ligne le 17 décembre 2015].
- [22] ITU : International telecommunication union. <http://www.itu.int/net/home/index-fr.aspx>, december 2015. [consulté en ligne le 17 décembre 2015].
- [23] Quratulain KALHORO, Lubna L CHOWDHRY, Tamoor ABBASI et Shazia ABBASI : M-learning-an innovative advancement of ICT in education. *In Distance Learning and Education (ICDLE), 2010 4th International Conference on*, pages 148–151. IEEE, 2010.
- [24] Marco KALZ, Yasemin BAYYURT et Marcus SPECHT : Mobile as mainstream—towards future challenges in mobile learning. *13th World Conference on Mobile and Contextual Learning, mLearn*, november 2014.
- [25] Bernard KAMBALE et Thierry EUDE : M-learning as a convenient support to the learning process in computer science. *In Quadrado JOSÉ CARLOS, Bernardino JORGE et Rocha JOAÕ, éditeurs : 45th SEFI annual conference, Angra do Heroísmo, Portugal, 18-21 september, 2017. Proceedings*, pages 788–795. SEFI (European Society for Engineering Education), 2017.
- [26] Youn-ah KANG et John STASKO : Lightweight task/application performance using single versus multiple monitors : A comparative study. *In Proceedings of Graphics*

- Interface 2008*, GI '08, pages 17–24, Toronto, Ont., Canada, Canada, 2008. Canadian Information Processing Society.
- [27] Matthew KEARNEY, Sandra SCHUCK, Kevin BURDEN et Peter AUBUSSON : Viewing mobile learning from a pedagogical perspective. *Research in learning technology*, 20, 2012.
- [28] Simon KHALAF : Apps solidify leadership six years into the mobile revolution. <http://flurrymobile.tumblr.com/post/115191864580/apps-solidify-leadership-six-years-into-the-mobile>, april 2014. [consulté en ligne le 22 août 2017].
- [29] M. KHALILUZZAMAN et I. I. CHOWDHURY : Pre and post controller based MVC architecture for Web application. In *2016 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, pages 552–557, may 2016.
- [30] Yeongjun KIM, Soonmook JEONG, Yongwoon Ji, Sangeun LEE, Key Ho KWON et Jae Wook JEON : Smartphone response system using Twitter to enable effective interaction and improve engagement in large classrooms. *Education, IEEE Transactions on*, 58(2):98–103, may 2015.
- [31] N. KUDO, T. YAMAUCHI et T. H. AUSTIN : Access control for plugins in Cordova-based hybrid applications. In *2017 IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, pages 1063–1069, march 2017.
- [32] Chen LING, Alex STEGMAN, Chintan BARHBAYA et Randa SHEHAB : Are two better than one? a comparison between single- and dual-monitor work stations in productivity and user’s windows management style. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 33(3):190–198, 2017.
- [33] Qiang LIU, Lixin DIAO et Guangcan TU : The application of artificial intelligence in mobile learning. In *System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization (ICSEM), 2010 International Conference on*, volume 1, pages 80–83, nov 2010.
- [34] A. J. LÓPEZ, I. L. ZORROZUA, E. S. RUIZ, M. RODRÍGUEZ-ARTACHO et M. C. GIL : Design and development of a responsive web application based on scaffolding learning. In *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 308–313, april 2016.

- [35] I. MALAVOLTA : Web-based hybrid mobile apps : State of the practice and research opportunities. *In 2016 IEEE/ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)*, pages 241–242, may 2016.
- [36] Ivano MALAVOLTA : Beyond native apps : Web technologies to the rescue!(key-note). *In Proceedings of the 1st International Workshop on Mobile Development*, pages 1–2. ACM, 2016.
- [37] Odile MARTIAL et Jesús VÁZQUEZ-ABAD : Didactique des sciences et ergonomie pour l’innovation grâce aux technologies mobiles d’apprentissage. *In Proceedings of the Ergonomie et Informatique Avancée*, pages 139–146. ACM, 2010.
- [38] MD Anwar Hossain MASUD et Xiaodi HUANG : M-learning architecture for cloud-based higher education system of Bangladesh. *Mobile Computing*, 2(4):84–94, 2013.
- [39] Catherine MCLOUGHLIN et Mark JW LEE : Social software and participatory learning : Pedagogical choices with technology affordances in the Web 2.0 era. *In ICT : Providing choices for learners and learning. Proceedings ascilite Singapore 2007*, pages 664–675, 2007.
- [40] S. MOHOROVIČIĆ : Implementing responsive Web design for enhanced Web presence. *In 2013 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pages 1206–1210, may 2013.
- [41] G. MOLNAR : New learning spaces ? m-learning’s, in particular the iPad’s potentials in education. *In Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012 15th International Conference on*, pages 1–5, sept 2012.
- [42] C. K. NEE, N. H. IBRAHIM et N. YAHAYA : Designing an imleaming apps as formulated ideal personalised social collaborative mobile learning environment. *In 2015 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e)*, pages 153–157, aug 2015.
- [43] O. ORTIZ, P. M. ALCOVER, F. SÁNCHEZ, J. Á. PASTOR et R. HERRERO : M-learning tools : The development of programming skills in engineering degrees. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 10(3):86–91, aug 2015.

- [44] S. S. OYELERE et J. SUHONEN : Design and implementation of MobileEdu m-learning application for computing education in nigeria : A design research approach. *In 2016 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTICE)*, pages 27–31, march 2016.
- [45] M. PALMIERI, I. SINGH et A. CICHETTI : Comparison of cross-platform mobile development tools. *In 2012 16th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*, pages 179–186, oct 2012.
- [46] David PARSONS : A mobile learning overview by timeline and mind map. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 2014.
- [47] G. PAUL et J. IRVINE : Achieving optional Android permissions without operating system modifications. *In 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pages 1–5, may 2015.
- [48] R. PAUL, M. HAMILTON et D. DSOUZA : A cloud model for distributed transport system integration. *In 2014 IEEE Fourth International Conference on Big Data and Cloud Computing*, pages 77–84, dec 2014.
- [49] X. L. PHAM, T. H. NGUYEN, W. Y. HWANG et G. D. CHEN : Effects of push notifications on learner engagement in a mobile learning app. *In 2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pages 90–94, july 2016.
- [50] P. QUE, X. GUO et M. ZHU : A comprehensive comparison between hybrid and native app paradigms. *In 2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, pages 611–614, dec 2016.
- [51] W. A. RAHIM, W. M. ISA, A. M. LOKMAN, N. F. TAHARIM et N. D. WAHID : Engineering m-learning using agile user-centered design. *In 2014 Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies*, pages 60–65, sept 2014.
- [52] V. G. RODRÍGUEZ, I. S. BERRIEL, J. L. R. GARCÍA, L. M. M. de ANTONIO et C. R. QUINTANA : M-learning project and M-EANor : Two teaching projects from the degree in computer science and engineering. *In 2014 XI Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (Technologies Applied to Electronics Teaching) (TAEE)*, pages 1–6, june 2014.

- [53] LJM ROTHKRANTZ : From e-learning to m-learning : a MOOC case study. *In e-Learning'15 : International Conference on e-Learning, University of Applied Sciences, Berlin, Germany, 11-12 sept 2015*, 2015.
- [54] D. SCHON, S. KOPF et W. EFFELSBURG : A lightweight mobile quiz application with support for multimedia content. *In e-Learning and e-Technologies in Education (ICEEE), 2012 International Conference on*, pages 134–139, sept 2012.
- [55] D.H. SETIABUDI, L.J. TJAHYANA et WINSSEN : Mobile learning application based on hybrid mobile application technology running on Android smartphone and Blackberry. *In ICT for Smart Society (ICISS), 2013 International Conference on*, pages 1–5, june 2013.
- [56] Genevieve STANTON et Jacques OPHOFF : Towards a method for mobile learning design. *Issues in Informing Science and Information Technology*, 10:501–523, 2013.
- [57] P. STYLIANIDIS : Mobile learning : Open topics, concept and design of a learning framework. *In 2015 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL)*, pages 421–424, nov 2015.
- [58] A. SYROMIATNIKOV et D. WEYNS : A journey through the land of model-view-design patterns. *In 2014 IEEE/IFIP Conference on Software Architecture*, pages 21–30, april 2014.
- [59] Zahra TALEB et Amir SOHRABI : Learning on the move : The use of mobile technology to support learning for university students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 69:1102–1109, 2012.
- [60] Nikolai TILLMANN, Michal MOSKAL, Jonathan de HALLEUX, Manuel FAHNDRICH, Judith BISHOP, Arjmand SAMUEL et Tao XIE : The future of teaching programming is on mobile devices. *In Proc. 17th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE 2012)*, july 2012.
- [61] M.F. TRETINJAK, A. BEDNJANEC et M. TRETINJAK : Interactive teaching with Socrative. *In Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2015 38th International Convention on*, pages 848–851, may 2015.
- [62] Chia-Wen TSAI : An effective online teaching method : The combination of collaborative learning with initiation and self-regulation learning with feedback. *Behaviour & Information Technology*, 32(7):712–723, 2013.

- [63] N. WANG, X. CHEN, G. SONG, Q. LAN et H. PARSAEI : Design of a new mobile optimized remote laboratory application architecture for m-learning. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, PP(99):1–1, 2016.
- [64] Lucas WIENER, Tomas EKHOLM et Philipp HALLER : Modular responsive web design : An experience report. *In Companion to the first International Conference on the Art, Science and Engineering of Programming*, page 22. ACM, 2017.
- [65] M. x. GU et K. TANG : Comparative analysis of webforms MVC and MVP architecture. *In 2010 The 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, volume 2, pages 391–394, july 2010.
- [66] A. ZALDIVAR, C. TRIPP, J. A. AGUILAR, J. E. TOVAR et C. E. ANGUIANO : Using mobile technologies to support learning in computer science students. *IEEE Latin America Transactions*, 13(1):377–382, jan 2015.

