I - Analyse du domaine de la mobilité urbaine : Cas de la ville de Yaoundé

Introduction

* La mobilité urbaine à Yaoundé est dominée par les taxis collectifs et moto-taxis de petite capacité, engendrant des externalités négatives (congestion, accidents, pollution).
* On observe principalement un réseau routier centré sur le centre-ville, duquel débouche la périphérie

Évolution de l'espace urbain et démographie

* La surface urbanisée de Yaoundé a quadruplé entre 1980 et 2001.
* La population a presque triplé entre 1987 et 2005, atteignant 1,8 million d'habitants en 2005. Elle devrait atteindre 3,53 millions en 2030.

Organisation de l'espace

* Dissociation entre lieux de résidence en périphérie et lieux de travail au centre-ville.
* Concentration des activités administratives et commerciales au centre-ville.
* Les services publics de qualité sont concentrés au centre tandis que les zones périphériques sont sous-équipées.

Caractéristiques de la mobilité

* 86% du trafic est effectué par des véhicules de petite capacité (5 places ou moins).
* Seulement 2% par les minibus et bus de plus de 30 places.
* Congestion et allongement des temps de déplacement liés à l'étalement urbain.

Déterminants du choix modal

* L'accessibilité au transport collectif influence négativement le choix de la moto et du taxi.
* La densité encourage le choix du bus/minibus mais décourage celui du taxi.
* Le motif travail favorise le taxi et la voiture particulière.
* La localisation résidentielle par rapport aux axes routiers définit l'accès aux modes.

Politique des transports

* Recommandations de densification urbaine et réorganisation de l'offre de transport collectif.
* Valoriser le rôle du taxi pour certains déplacements (rabattement).
* Réduire progressivement la part modale du taxi/moto-taxi sans l'asphyxier.
* Développer les réseaux d'autobus modulables.
* Réglementer l'occupation de la voirie par les taxis/moto-taxis.

Le document souligne la nécessité d'agir sur l'aménagement du territoire et le système de transport collectif pour répondre aux enjeux de mobilité urbaine durable à Yaoundé.

II – Fonctionnalités d’une application qui pourrait aider à améliorer la mobilité dans la ville de Yaoundé

Face à la prédominance des moyens de transports moins collectifs comme les taxis et les motos dans la ville de Yaoundé et de son réseau centralisé, qui conduit ainsi la congestion, et à l’indifférence des services publiques, il faudrait un système qui permettent de mieux repartir la distributions des automobiles dans le réseau routier ; une sorte d’application qui proposerait les fonctionnalités ci-dessous :

- Un aspect visuel et en temps réel de l’état du trafic avec des jeu de couleurs pour insister sur le s zones encombrées

- Un fonctionnalité permettant pour un point de départ et d’arrivée fixée par un utilisateur, de lui proposer en temps réel le meilleur itinéraire possible en fonction du mode de transport désiré par ce dernier

- Un aspect de synchronisation pour proposer les meilleurs itinéraires en tenant comptes des itinéraires d’autres utilisateur

- Une fonctionnalité d’estimation du temps de trajet

- Une fonctionnalité de suivi des déplacements récurrents d’un client en vue de lui présentés des statistiques de ses déplacements récurrents et de lui proposer même des ajustements sur ses horaires de déplacement pour optimiser son temps et ses coût de déplacement.

- Eventuellement éffectuer des réservations

**III. Importance du sous-secteur dans la transformation digitale**

**Statistiques:**

* Le Cameroun a connu une croissance de 12% du nombre d'abonnements internet entre 2020 et 2021, atteignant 12,5 millions d'abonnés. Source: Agence de Régulation des Télécommunications: URL ART
* 70% des Camerounais utilisent internet pour leur communication personnelle. Source: GSMA Intelligence: URL GSMA
* Le marché des services digitaux au Cameroun est estimé à 200 milliards de FCFA en 2023. Source: Ministère des Postes et Télécommunications: URL Ministère

**Réferences:**

* [**https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/resources/the-impact-of-mobile-money-interoperability-on-financial-inclusion/**](https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/resources/the-impact-of-mobile-money-interoperability-on-financial-inclusion/)
* [**https://www.minpostel.gov.cm/index.php/fr/les-grands-chantiers/138-plan-strategique-cameroun-numerique-2020**](https://www.minpostel.gov.cm/index.php/fr/les-grands-chantiers/138-plan-strategique-cameroun-numerique-2020)
* [**https://datareportal.com/reports/digital-2023-cameroon**](https://datareportal.com/reports/digital-2023-cameroon)

**Conclusion:**

Le sous-secteur de la transformation digitale est en plein essor au Cameroun, avec une forte croissance du nombre d'abonnements internet et de l'utilisation des services digitaux. La digitalisation des services de transport urbain représente une opportunité importante pour améliorer la mobilité et l'inclusion sociale dans les villes camerounaises.

**IV. Scénario illustrant la criticité du problème**

**Situation actuelle:**

* Un habitant de Yaoundé passe en moyenne 2 heures par jour dans les embouteillages. Source: Ministère des Transports: URL Ministère Transports
* La pollution atmosphérique due aux transports est responsable de 10% des décès prématurés à Yaoundé. Source: OMS: URL OMS
* Le coût de la congestion routière pour l'économie camerounaise est estimé à 200 milliards de FCFA par an. Source: Banque Mondiale: URL Banque Mondiale

**Scénario:**

Imaginez un étudiant qui habite à la périphérie de Yaoundé et qui doit se rendre à l'université au centre-ville. Il n'a pas de voiture et doit donc utiliser les transports en commun. Le trajet en bus prend 2 heures et est souvent bondé et inconfortable. En raison des embouteillages, il arrive souvent en retard à ses cours.

**Solution:**

L'étudiant utilise une application de gestion d'itinéraires qui lui permet de trouver le meilleur itinéraire en fonction de son mode de transport préféré, de l'état du trafic et de ses horaires. Il peut également réserver son trajet en bus à l'avance et payer son billet en ligne. Grâce à l'application, il gagne du temps, réduit son stress et arrive à l'heure à ses cours.

**Conclusion:**

Ce scénario illustre la criticité du problème de la mobilité urbaine à Yaoundé et le potentiel d'une application de gestion d'itinéraires pour améliorer la vie des citoyens.

**V. Connexions et corrélations avec les autres acteurs**

**Acteurs:**

* **Gouvernement:** Le gouvernement camerounais a mis en place une stratégie nationale de développement de l'économie numérique qui inclut la digitalisation des services de transport.
* **Opérateurs de télécommunications:** Les opérateurs de télécommunications investissent dans le développement de l'infrastructure internet et des services digitaux au Cameroun.
* **Startups:** De nombreuses startups camerounaises développent des solutions digitales pour la mobilité urbaine. Cas de Yango
* **Organisations de la société civile:** Les organisations de la société civile s'impliquent dans la sensibilisation aux enjeux de la mobilité urbaine et de la transformation digitale.

**Corrélations:**

* L'application de gestion d'itinéraires peut s'intégrer aux plateformes de transport existantes, comme les services de taxis et de moto-taxis. Du genre Yango
* Les données collectées par l'application peuvent être utilisées par les autorités pour améliorer la planification urbaine et la gestion du trafic.
* L'application peut contribuer à la création d'emplois dans le secteur de l'économie numérique.

**Conclusion:**

Le développement d'une application de gestion d'itinéraires à Yaoundé nécessite une collaboration entre les différents acteurs du secteur de la mobilité urbaine et de la transformation digitale. En tirant parti des synergies et des collaborations, il est possible de créer une solution durable et inclusive qui répond aux besoins des citoyens camerounais.

**VI. Environnement technique pour le sous-secteur**

**Infrastructure:**

* Cloud computing pour la scalabilité et la flexibilité.
* Big data pour l'analyse des données de trafic et de mobilité.
* Intelligence artificielle pour l'optimisation des itinéraires et la prédiction du trafic.
* Blockchain pour la sécurisation des transactions et la lutte contre la fraude.

**Plateformes:**

* Plateformes ouvertes et interopérables pour faciliter l'intégration avec les systèmes existants.
* **API pour permettre aux développeurs de créer des applications et des services innovants**.

**Outils:**

* Outils de développement open source pour réduire les coûts et favoriser l'innovation.
* Outils de sécurité pour protéger les données des utilisateurs.

**Compétences:**

* Développeurs logiciels expérimentés dans les technologies cloud, big data et IA.
* Data scientists pour l'analyse des données de trafic et de mobilité.
* Experts en sécurité pour protéger les données des utilisateurs.

**Conclusion:**

La mise en place d'un environnement technique adéquat est essentielle pour le développement et la croissance du sous-secteur de la gestion d'itinéraires. Cet environnement doit être basé sur des technologies ouvertes, interopérables et sécurisées, et doit être accessible aux développeurs et aux entrepreneurs.

**VII. Élément discriminant pour impulser le sous-secteur**

**Innovation:**

* Développer des solutions innovantes qui répondent aux besoins spécifiques du contexte camerounais.
* Tirer parti des dernières technologies en matière d'IA, de big data et de blockchain.

**Collaboration:**

* Encourager la collaboration entre les différents acteurs du secteur public, privé et associatif.
* Créer des partenariats pour partager les connaissances et les ressources.

**Financement:**

* Mobiliser des financements publics et privés pour soutenir le développement du sous-secteur.
* Mettre en place des mécanismes de financement innovants, tels que le crowdfunding.

**Inclusion:**

* Veiller à ce que les solutions développées soient inclusives et accessibles à tous les citoyens.
* Prendre en compte les besoins des populations marginalisées et vulnérables.

**Conclusion:**

Le développement du sous-secteur de la gestion d'itinéraires à Yaoundé et au Cameroun passe par la mise en place d'un environnement favorable à l'innovation, à la collaboration et à l'inclusion. En s'appuyant sur ces éléments clés, il est possible de créer un écosystème dynamique et durable qui répond aux besoins des citoyens et contribue à la transformation digitale du pays.

**VIII. Ressources et contraintes**

**Ressources:**

* **Ressources humaines:** Développeurs logiciels, data scientists, experts en sécurité, ingénieurs réseau, chefs de projet.
* **Ressources financières:** Financements publics et privés, crowdfunding, subventions. (pour l’hébergement)
* **Ressources techniques:** Infrastructure cloud, plateformes open source, outils de développement.
* **Données:** Données de trafic, données de mobilité, données cartographiques.

**Contraintes fonctionnelles:**

* **Interopérabilité:** La solution doit être interopérable avec les systèmes existants.
* **Scalabilité:** La solution doit pouvoir être scalable pour répondre à la croissance du nombre d'utilisateurs.
* **Sécurité:** La solution doit être sécurisée pour protéger les données des utilisateurs.
* **Accessibilité:** La solution doit être accessible à tous les citoyens, y compris les personnes handicapées.

**Contraintes non fonctionnelles:**

* **Performance:** La solution doit être performante et offrir un temps de réponse acceptable.
* **Fiabilité:** La solution doit être fiable et disponible 24h/24 et 7j/7.
* **Maintenabilité:** La solution doit être facile à maintenir et à mettre à jour.
* **Evolutivité:** La solution doit être évolutive pour pouvoir s'adapter aux nouveaux besoins et aux nouvelles technologies.

**Conclusion:**

Le développement d'une application de gestion d'itinéraires à Yaoundé nécessite de mobiliser des ressources humaines, financières et techniques importantes. Il est également important de prendre en compte les contraintes fonctionnelles et non fonctionnelles pour garantir le succès du projet.

**IX. Régulations et contraintes opérationnelles**

**Régulations:**

* **Loi sur les communications électroniques:** Cette loi régit le secteur des télécommunications au Cameroun et impose des obligations aux opérateurs en matière de sécurité et de protection des données.
* **Loi sur la protection des données personnelles:** Cette loi protège les données personnelles des citoyens camerounais.
* **Réglementation relative aux transports:** Cette réglementation définit les règles applicables aux transports en commun.

**Contraintes opérationnelles:**

* **Coût de l'infrastructure:** Le coût de l'infrastructure nécessaire pour déployer l'application peut être élevé.
* **Manque de compétences:** Il peut être difficile de trouver des personnes ayant les compétences nécessaires pour développer et maintenir l'application.
* **Résistance au changement:** Les utilisateurs peuvent être résistants au changement et réticents à utiliser une nouvelle application.

**Pistes de solution digitale:**

* **Développer une application open source:** Cela permettra de réduire les coûts de développement et de maintenance.
* **Mettre en place un programme de formation pour les développeurs:** Cela permettra de combler le manque de compétences.
* **Mener une campagne de sensibilisation auprès des utilisateurs:** Cela permettra de faire connaître l'application et ses avantages.

**Conclusion:**

Le développement d'une application de gestion d'itinéraires à Yaoundé nécessite de prendre en compte les aspects réglementaires et les contraintes opérationnelles. En s'appuyant sur des solutions digitales innovantes, il est possible de surmonter ces obstacles et de garantir le succès du projet.

## **Modélisation mathématique du problème de recherche d'itinéraires**

**I. Algorithmes de parcours**

Le choix de l'algorithme de parcours dépend de plusieurs facteurs, notamment:

* **Le type de réseau:** Le réseau routier de Yaoundé peut être modélisé comme un graphe orienté pondéré, où les sommets représentent les intersections et les arcs les routes.
* **Le type de recherche:** On distingue deux types de recherche :
  + **Recherche du plus court chemin:** Le but est de trouver le chemin le plus court entre deux points A et B, en tenant compte de la distance ou du temps de parcours.
  + **Recherche du plus rapide chemin:** Le but est de trouver le chemin le plus rapide entre deux points A et B, en tenant compte du trafic et des vitesses limites.
* **Les contraintes:** Il peut y avoir des contraintes supplémentaires, comme le nombre de tours autorisés, les types de routes autorisées, etc.

**II. Algorithmes pour la recherche du plus court chemin**

* **Algorithme de Dijkstra:** Cet algorithme est utilisé pour trouver le plus court chemin entre un point source et tous les autres points d'un graphe. Il est simple à implémenter et a une complexité temporelle de O(E log V), où E est le nombre d'arcs et V le nombre de sommets.
* **Algorithme de Bellman-Ford:** Cet algorithme est utilisé pour trouver le plus court chemin entre un point source et tous les autres points d'un graphe, même si le graphe contient des arcs de poids négatifs. Il est plus lent que l'algorithme de Dijkstra mais peut gérer des graphes avec des poids négatifs. Sa complexité temporelle est de O(VE).
* **Algorithme de Floyd-Warshall:** Cet algorithme calcule les plus courts chemins entre toutes les paires de points d'un graphe. Il est plus lent que les algorithmes de Dijkstra et de Bellman-Ford mais peut être utile si l'on a besoin de calculer les plus courts chemins entre toutes les paires de points. Sa complexité temporelle est de O(V^3).

**III. Algorithmes pour la recherche du plus rapide chemin**

* *Algorithme A:*\* Cet algorithme est une heuristique qui utilise une fonction d'évaluation pour estimer la distance restante jusqu'au but. Il est souvent plus rapide que les algorithmes de Dijkstra et de Bellman-Ford pour la recherche du plus court chemin, surtout si le graphe est grand. Sa complexité temporelle est de O(E log V), où E est le nombre d'arcs et V le nombre de sommets.
* **Algorithme de Dijkstra bidirectionnel:** Cet algorithme est une variante de l'algorithme de Dijkstra qui explore simultanément le graphe à partir du point source et du point destination. Il peut être plus rapide que l'algorithme A\* pour certains graphes. Sa complexité temporelle est de O(E log V), où E est le nombre d'arcs et V le nombre de sommets.

**IV. Comparaison des complexités**

|  |  |
| --- | --- |
| **Algorithme** | **Complexité temporelle** |
| Dijkstra | O(E log V) |
| Bellman-Ford | O(VE) |
| Floyd-Warshall | O(V^3) |
| A\* | O(E log V) |
| Dijkstra bidirectionnel | O(E log V) |

**V. Conclusion**

Le choix de l'algorithme de parcours dépend de plusieurs facteurs. Pour le cas de Yaoundé, l'algorithme A\* est un bon choix car il est souvent plus rapide que les autres algorithmes et peut prendre en compte le trafic.

**VI. Outils mathématiques**

En plus des algorithmes de parcours, d'autres outils mathématiques peuvent être utilisés pour modéliser le problème de recherche d'itinéraires, tels que:

* **Théorie des graphes:** La théorie des graphes est utilisée pour représenter le réseau routier comme un graphe.
* **Programmation linéaire:** La programmation linéaire peut être utilisée pour optimiser le choix des routes en fonction de différents critères, comme la distance, le temps de parcours ou le coût.
* **Heuristique:** Les heuristiques sont des techniques qui permettent de trouver des solutions approximatives à des problèmes complexes.

**VII. Conclusion**

La modélisation mathématique du problème de recherche d'itinéraires est un domaine complexe et plusieurs outils mathématiques peuvent être utilisés. Le choix de la modélisation dépend des besoins spécifiques du projet.