

**Trans- Ferro**

**Planification et Conception d'une ligne  
ferroviaire  
entre  
L'Équateur et le Pérou**

**RÉSUMÉ  
&  
Présentation par BIM**

**Projet ferroviaire pour l'AFD et l'ENPC**

**Khaldoun KARRAZ**

**Bridging Transport Gap  
BTG / 2022**

# ABSTRACT

Le projet Trans-Ferro Pérou Equateur pose ainsi toutes les problématiques de la création d'une ligne ferroviaire. Afin de répondre au besoin exprimé d'une connexion nord-sud entre Quito et Arequipa, l'étude en amont demandée a d'abord requis une étude de contexte. La géographique, la topographie et la climatologie complexes des deux pays ont conduit le tracé de la ligne nouvelle à suivre la côte sur une grande partie de sa longueur, en évitant les nombreux sites protégés dans ces zones historiques.

La démarche de création de cette ligne a également dû prendre en compte la très forte utilisation de la route, et emprunter les quelques infrastructures ferroviaires déjà existantes dispersées sur le territoire Péruvien. Cette étude de contexte a également permis de mettre en avant les difficultés politiques historiques entre le Pérou et l'Equateur, qui s'estompent depuis une vingtaine d'années, mais aussi les difficultés d'instabilité politique propres à chaque pays, et le faible développement des économies respectives.

Le projet Trans-Pérou-Équateur est confronté à toutes les problématiques liées à la création d'une liaison de près de 4000 km entre deux pays politiquement instables dans des zones de développement sous-développées et quasiment dépourvues d'infrastructures. Un projet aussi ambitieux devait être bien construit pour réussir.

Le tracé retenu dessert donc les villes de Quito, Guayaquil, Huaquillas au niveau de la gare « frontière », Lima, Nazca, avant de suivre une boucle pour atteindre Arequipa : la partie ouest de la boucle longeant la côte, la partie est desservant la ville de Cuzco avant d'atteindre le terminus sud de la ligne. Malgré l'optimisation maximale du tracé en évitant ou en regroupant les contraintes, de nombreux ponts et tunnels devront être construits, augmentant ainsi significativement le budget nécessaire à la réalisation du projet.

Aussi, des solutions de signalisation adaptées proposées, en n'utilisant l'ERTMS que sur les tronçons prévus pour être les plus chargés. Les voies seront standard, aux normes européennes qui semblent se développer progressivement dans les deux pays.

Les études nécessaires à la constitution d'un plan d'exploitation qui il a permis de mettre en évidence un potentiel intéressant de besoin « voyageurs ». Le tracé choisi donne tous les moyens pour répondre au besoin de desserte sous-régionale, qui est stratégique au Pérou. En revanche, le bilan est plus nuancé pour le fret : les schémas de transports routiers sont très ancrés dans les mœurs, et les liaisons avec les ports sont primordiales. Des solutions ont été proposées pour répondre à ce problème, avec l'objectif de réaliser une ligne ferroviaire mixte. Le matériel roulant « voyageurs » sera hybride, car l'électrification de la ligne nouvelle sur ses 3 704 km serait financièrement injustifiée.

Premièrement, il existe un fort (besoin de) besoin de communication afin de changer tous les états d'esprit courants des transports : presque tous les déplacements se font tous en voiture. Avec des voies ferrées (voies ferrées) longeant à la fois la route panaméricaine et la côte Pacifique sur la majeure partie du trajet, le train se positionnera comme une véritable alternative pertinente (pertinente) et abordable. Il existe un fort potentiel pour le marché des voyageurs, avec une ligne de train desservant les capitales des deux pays et les villes les plus importantes. Une topographie délicate impose la construction de quelques viaducs et tunnels, malgré une optimisation maximale du tracé. Les nouvelles voies seront connectées à celles

existantes en Equateur et dans le sud du Pérou. L'utilisation de la signalisation ERTMS ne sera efficace que sur les sections les plus denses.

Ce seront donc une cinquantaine de trains de voyageurs qui seront proposés au lancement du projet dans les années 2030, qui pourront être soutenus par l'achat d'une dizaine de rames supplémentaires pour l'horizon 2040 en suivant les prévisions réalisées. Seules les mises en service et le retour d'expérience de celle-ci permettront de déterminer avec précision les besoins de l'exploitation. Le plan d'exploitation proposé équilibre les dessertes des territoires avec les besoins estimés des populations.

Ce projet est aussi unique par son coût : près de : près de 30 milliards d'euros (26 27 pour les infrastructures, auxquels s'ajoutent les frais de personnel et de matériel roulant). Même si les risques sont élevés avec le coût et le pari sur l'immigration de la population de la voiture au train, le projet Trans Pérou-Équateur représente une énorme opportunité pour les enjeux liés : enjeux environnementaux, maillage territorial territorial et intégration régionale. Ainsi, cette étude a mis en évidence un bilan mitigé. Le coût de réalisation de ce projet est extrêmement important. Le rôle de la communication sera immense pour le trafic voyageur, tout comme la concertation avec les acteurs du transport de marchandises pour le transport fret. Le potentiel est grand mais les risques le sont aussi. Même si en termes d'intégration régionale, de mobilité, de réduction de gaz à effet de serre, ce projet est une opportunité, les coûts liés à l'infrastructure sont un frein à majeur.

De surcroît, la réalisation d'un projet d'une telle ampleur requiert un planning adapté. Ce projet s'inscrit dans une vision à long terme. Les phases d'avant-projet, de réalisation et de mise en exploitation ont été détaillées, tout comme la création d'une autorité organisatrice à laquelle on accorde d'importantes compétences. Cette dernière aura le rôle principal pour la bonne réalisation et mise en service de la ligne du TransPérou.

Lorsque l'on sait mesurer tous les bénéfices qu'apporte un système de transport bien développé, il est extrêmement formateur de travailler au renforcement des réseaux de deux pays en développement comme l'Equateur et le Pérou, et de tâcher de proposer les meilleures solutions aux contraintes qui s'y présentent.

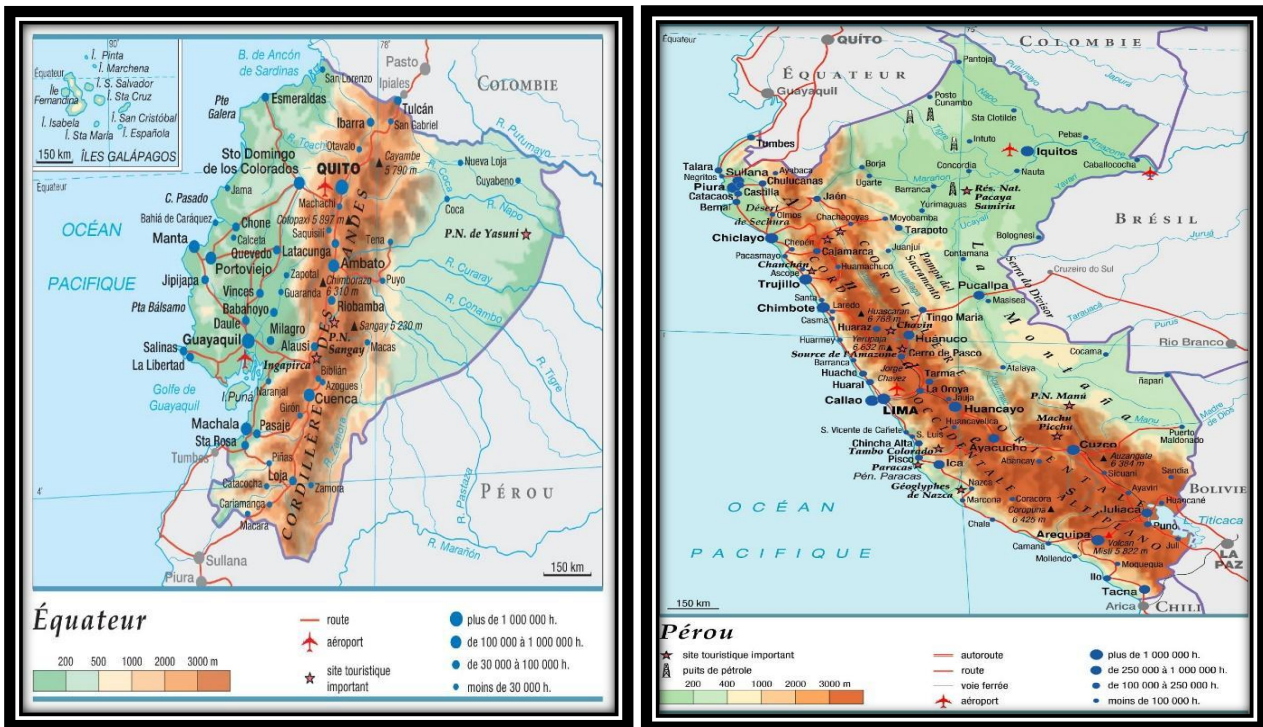
## **1. Analysis of the current situation:**

Le Pérou et l'Equateur sont deux pays latino-américains voisins avec une large ouverture sur l'océan Pacifique. Ils ne sont pas encore considérés comme des pays en développement, même s'ils sont en passe de le devenir. L'Equateur a une population de 16 millions d'habitants, la moitié de celle du Pérou, sur une superficie plus de quatre fois moindre : 300.000 km<sup>2</sup> contre 1 300 000.

Les deux pays présentent une situation géographique et climatique similaire, découpée verticalement en trois parties bien distinctes.

La côte ouest est la zone la plus peuplée et assez désertique, tandis que la zone "Sierra" est située au centre des deux pays et est très montagneuse. A l'est de chaque pays, la zone « Selva » occupe un immense espace plein de forêts. C'est une zone très tropicale et donc invivable. Les villes les plus importantes sont situées sur la côte, où se trouvent la majorité des

routes et des infrastructures des deux pays. C'est aussi l'endroit le plus sûr pour construire une ligne de train, loin des hautes montagnes et des forêts denses.



Le Pérou a connu une croissance économique au cours des 15 dernières années, ce qui a conduit à un bon développement de la qualité de vie. L'Equateur affiche également un meilleur GIB année après année. Néanmoins, les deux pays avaient une relation historique difficile, et leurs situations politiques sont bloquées après de nombreuses années de manifestations publiques violentes et d'opinion publique divisée.

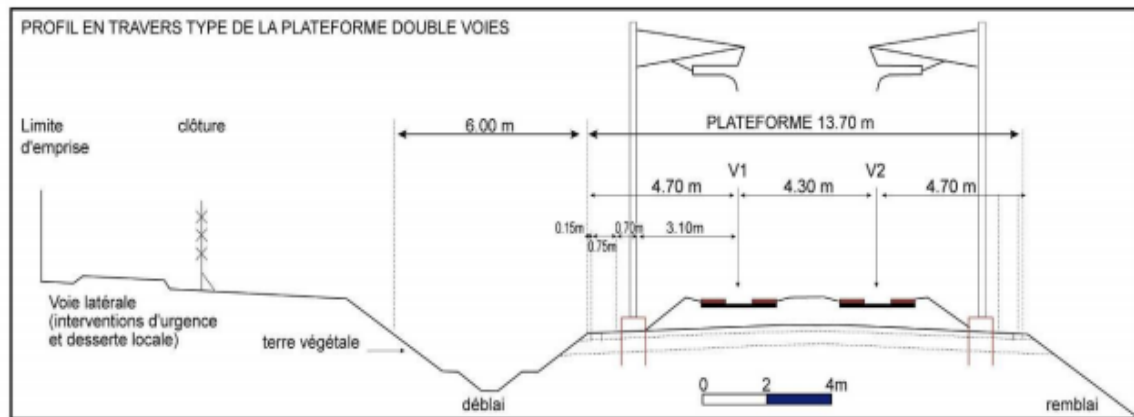
En termes de transport, le Pérou et l'Equateur connaissent à nouveau une situation très similaire. Quelques vols quotidiens relient les principales villes aux capitales respectives. Le transport ferroviaire est presque inexistant, car toutes les distances équivalentes sont parcourues en voiture, en autobus ou en camion sur la route panaméricaine. Toutes les infrastructures ferroviaires sont petites, déconnectées et dispersées sur le territoire. Le but est de reconnecter ces pièces pour construire une ligne efficace. Le fret ferroviaire ne représente qu'un cinquième du trafic global, le reste étant réalisé avec des camions. L'enjeu majeur est donc de créer des corridors pour le transport de marchandises, et de tirer le meilleur parti de l'argument climatique afin de réduire le trafic routier pour un système de transport plus durable. De plus, les ports sont également des endroits clés pour se connecter au réseau, car ils représentent une part significative des exportations des pays.

Il n'existe pratiquement aucune liaison ferroviaire dans le pays, à l'exception des lignes Cusco-Puno et Lima-Huancayo. Cette dernière est particulièrement exceptionnelle, les voies se situant jusqu'à 4 800 mètres d'altitude et empruntant 69 tunnels et 58 ponts sur les 11h de trajet. Son tracé sinueux en fait l'une des lignes de chemin de fer les plus impressionnantes au Monde.

Les lignes les plus fréquentées sont touristiques, notamment celle qui dessert le Machu Picchu.

## 2. Délimitation et la planification

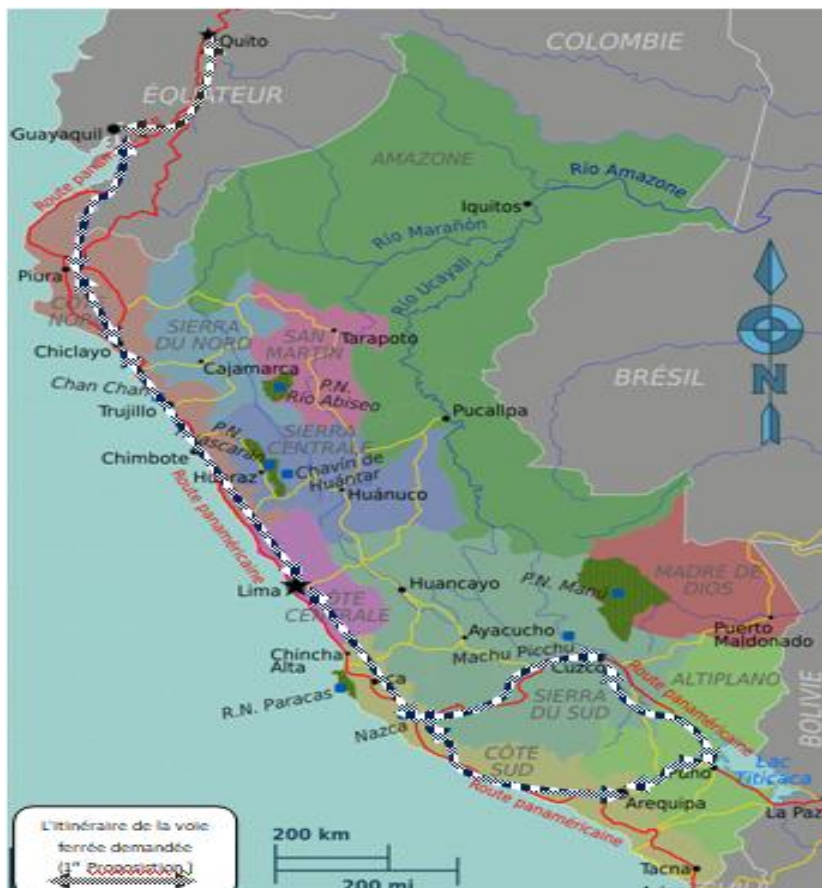
L'objectif était de réduire les coûts d'infrastructure. Par conséquent, la localisation de toutes les infrastructures à grande échelle, ponts et tunnels, a également été bien représentée. Une largeur standard est choisie pour les voies, une voie ferrée ballastée et une limitation de vitesse à 220 km/h pour les trains voyageurs. Le document suivant détaille toutes les dimensions latérales de la voie ferrée :



Il est important de se rappeler qu'il existe de fortes zones sismiques dans les deux pays.

C'est pourquoi il y aura beaucoup de capteurs tout au long de la ligne.

La ligne totale est longue de 3704 km, dont 2788 km à construire car 916 existent déjà entre Quito et Guayaquil, et Cuzco et Arequipa. Nos choix dans la délimitation mènent au passage à niveau et desservent de nombreuses zones rurales, culturelles, industrielles et commerciales

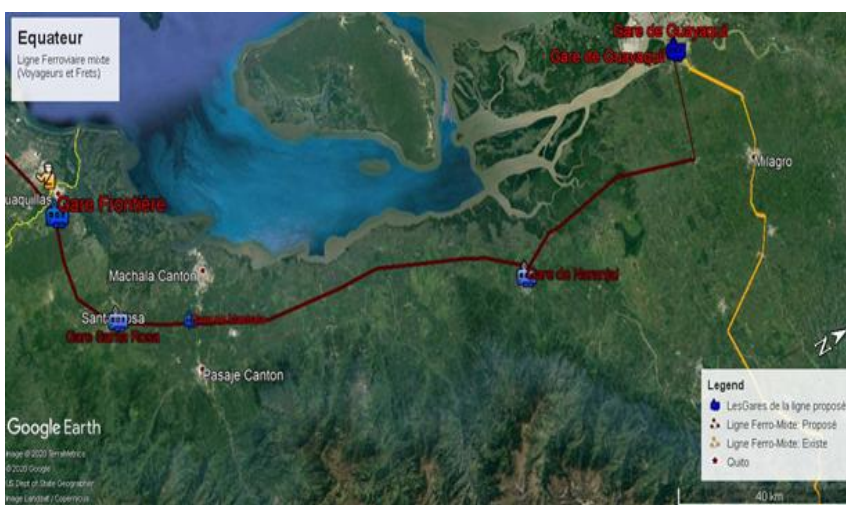






La gare de départ est située à Quito, en Équateur.

Les voies ferrées rejoignent Guayaquil en utilisant les voies existantes sur 400 km. Les villes de Tambillo, Canton, Ambaton, Riobamba et Huigra sont desservies sur le trajet.



La ligne continue en direction du sud sur 201km sur une nouvelle infrastructure avant de rejoindre le poste frontière, une nouvelle gare, nécessaire pour toutes les démarches administratives. Entre ces deux points, les voies desservent Naranjal, Machala et Santa Rosa, toutes équipées de nouvelles gares.

Jusqu'à présent, la distance moyenne entre deux stations est de 40 kilomètres. La partie restante et la plus importante des infrastructures ferroviaires est située sur le territoire péruvien.



La gare frontière est située près de la côte. Dès lors, les pistes longeront la côte Pacifique afin d'éviter une topographie difficile et de desservir les plus grandes villes du Pérou.

Le chemin de fer rejoint Sullana, Piura, Chiclayo, Chepen, Trujillo, Chimbote, Huacho puis la capitale Lima sur 1155 km. Toutes ces villes ont des ports importants.

Entre ces premières stations péruviennes, la distance est bien plus grande : 145 km. Jusqu'à présent, les voies ferrées unissent les capitales des deux pays dans une stratégie politique économique, commerciale, sociale et touristique.



Dans le but d'un développement durable du pays, nous proposons une liaison nord/sud entre Lima et Arequipa, desservant la ville de Nazca.

En chemin, San Vicente, Chíncha, Pisca et Ica sont desservies avant de rejoindre Nazca. Toutes ces villes bénéficieront de nouvelles gares. On observe une interstation de 86 km sur des pistes longues de 432 km.

En proposant une boucle (carrousel) au sud profond de la ligne, qui rejoint les voies existantes entre Cuzco et Arequipa. Nazca est un énorme nœud ferroviaire et un centre logistique, et fournir un service efficace à un marché de fret potentiel est crucial.



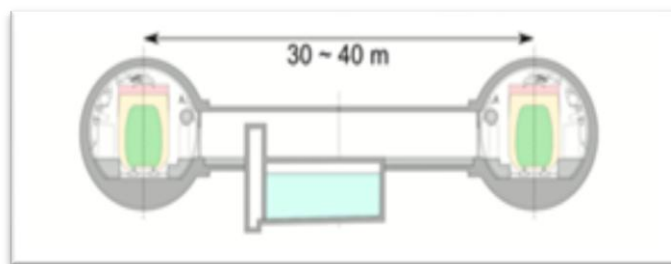
La boucle facilitera l'exploitation avec un chemin de fer unique, que nous avons choisi d'y utiliser.

Nazca et Ica ont toutes deux un aéroport et sont proches du port de St Juan, et ont donc un potentiel important pour le trafic de fret et de passagers (capacité considérable à la fois).

De nouvelles pistes sur la partie inférieure de la boucle relieront directement Nazca à Arequipa. En chemin, ils desserviront Chala et Camana sur une distance de 484 km. La partie haute d'une boucle est également constituée de 516 km de nouvelles pistes, et dessert Puquio, Abancay avant Cuzco. Il y a déjà la liaison à l'Est entre Cuzco et Arequipa). Ces pistes doivent être construites sur la topographie la plus difficile de la délimitation (jusqu'à 10,3% de forte pente entre Nazca et Chala). Six bases de travail aideront à la construction de l'infrastructure. Les mêmes précautions sont prises pour tous les viaducs et terrassements. Entre Lima et Nazca, un viaduc de 3 kilomètres de long et de 30 à 40 mètres de haut sera construit. Par calculé et projeté un prix total de 114 millions pour chaque kilomètre de pont.



La construction de plusieurs tunnels est nécessaire. Par exemple, nous emprunterons le premier des parcours (km point 37,5), qui fera 3 km, et le bi-tube. Chaque tube aura un diamètre interne de 4,2m et un diamètre externe de 4,9m.



Pays	La Ligne	Les gares De Ville à Ville	La distance entre les gares (Km)	La pente moyenne (%)
Equateur	De Quito à Guayaquil 400 Km (Ligne existante)	De Quito à Tambillo	34	3,3
		Tambillo - Canton	60	2,1
		Canton - Ambaton	40	2,2
		Ambaton - Riobamba	51	3,6
		Riobamba - Huigra	92	6,6
		Huigra - Guayaquil	123	6,8
	De Guayaquil à la frontière 201 Km (Ligne nouvelle)	Guayaquil - Naranjal	68	1,4
		Naranjal - Machala	76	0,7
		Machala - Santa Rosa	20	0,2
		Santa Rosa - La frontière	37	0,4
Pérou	De la frontière à Lima 1155 Km (Ligne nouvelle)	La frontière - Sullana	230	0,5
		Sullana - Piura	45	0,3
		Piura - Chiclayo	200	0,1
		Chiclayo - Chepen	80	0,1
		Chepén – Trujillo	110	0,7
		Trujillo - Chimbote	118	1,3
		Chimbote – Huacho	247	0,4
		Huacho - Lima	125	1,4
	De Lima A Nazca 432 Km (Ligne nouvelle)	Lima - San Vicente	140	0,3
		San Vicente - Chinchá	60	1,1
		Chinchá - Pisca	30	0,7
		Pisca – Ica	70	0,9
		Ica - Nazca	132	1,4
	De Nazca à Arequipa 484 Km (Ligne nouvelle)	Nazca - Chala	155	1,9
		Chala - Camana	190	4,8
		Camana - Arequipa	139	5,6
	De Nazca à Cuzco 516 Km (Ligne nouvelle)	Nazca - Puquio	130	10,3
		Puquio - Abancay	266	8,7
		Cuzco - Abancay	120	8,7
	De Cuzco à Arequipa 516 Km (Ligne existante)	Cuzco - Sicuani	128	3,2
		Sicuani - Juliaca	190	2,5
		Juliaca - Arequipa	192	3,4
	Total	<b>3704 Km</b>		
<b>916 km existants 2788 km à réaliser</b>				



## 3. Équipement et signalisation

### 3-1. Alimentation électrique

Le Pérou fait figure de modèle en Amérique Latine en termes d'énergies renouvelables, avec un bon "mix-énergétique" notamment grâce à 65% d'énergie thermique en 2015. L'état ambitionne d'ailleurs de porter ce mix-énergétique à 40% en 2030 en passant la part de l'hydroélectricité à 80% (contre 20% actuellement). A partir des hypothèses d'exploitation définies, la puissance à produire dans chaque sous station sera de 40 MW. Les différentes sous stations seront positionnées à des points du réseau présentant de faibles déclivités et espacées de 80 km à 100 km.

L'énergie hydraulique constitue l'autre grande source d'énergie de l'Équateur : elle a compté pour 58% de la production électrique du pays en 2016 et sa contribution est appelée à augmenter. Les autres filières renouvelables sont encore très peu développées dans le mix énergétique équatorien qui devrait se diversifier dans les décennies à venir selon la stratégie nationale 2016-2040.

### 3-2. Alimentation de traction

Le système est alimenté en 2 x 25 000 V monophasé - 50 Hz, avec feeder et caténaire en opposition de phase. Ce système constitue une ligne de transport d'énergie à 50 000 V et comprend deux sous-stations équipées de transformateurs qui délivrent aux bornes du secondaire une tension de 50 000 V. L'une des bornes est reliée à la caténaire, l'autre au feeder négatif, le point milieu du secondaire étant relié au rail. Des postes munis d'autotransformateurs permettent de transformer cette tension de 50 000 V et les courants qui en sont issus en tension de 25 000 V utilisable par les engins moteurs.

Des postes de ligne assurent la coupure conjuguée de la caténaire et du feeder en cas de nécessité, une section de séparation de phases, des sections de séparations de tension pour séparer la tension 25000 V du 3000 V continu des caténaires alimentées en 25 000 V, des feeders alimentés en 25 000 V.

Les matériels roulants voyageurs (V) ont un temps de réaction du frein  $\gamma$  à 0,2 m/s<sup>2</sup>, les convois de marchandises (M) freinent moins efficacement avec un  $\gamma$  à 0,1 m/s<sup>2</sup>

### 3-3. Signalisation

Compte tenu de la vitesse d'exploitation souhaitée de 220km/h et du niveau de service à satisfaire, nous prévoyons que la ligne nouvelle entre la gare de Guayaquil et la gare de Lima soit équipée du système de signalisation BAL (Block Automatique Lumineux) qui devrait être banalisé à l'horizon de la mise en œuvre du projet.

A la traversée des gares et après formation des itinéraires de voie directe, ce mode de cantonnement (BAL) continuera à assurer le fonctionnement automatique des signaux de cantonnement sans réintervention de l'exploitant.

Le choix de ce système de signalisation offre en outre l'avantage de réduire les appareils posés sur la voie et contribue donc à la réduction des charges de maintenance. De plus, l'utilisation d'un standard permet de pouvoir confronter plusieurs fournisseurs et de limiter la dépendance à un seul fournisseur par la suite.

### 3-4. Architecture proposée

#### - Installations d'espacement :

Les installations d'espacement comprennent les équipements isolés ou intégrés aux installations de gare, qui sont nécessaires pour garantir le respect des distances de sécurité entre les circulations.

#### - Block automatique (BAL)

Le block automatique est un système d'espacement qui permet de maintenir constamment, entre deux trains qui se suivent dans le même sens et sur la même voie, un intervalle de distance suffisant pour éviter tout rattrapage du premier par le second. L'entrée de cet intervalle est protégée par un signal de cantonnement.

Le block automatique est caractérisé par le fonctionnement entièrement automatique des signaux de cantonnement dont la fermeture puis la réouverture est provoquée par le passage des circulations elles-mêmes sans aucune intervention humaine. La fonction de block est assurée par l'indication "S" (sémaphore) ou "C" (carré) portée par un panneau implanté à l'entrée de chaque canton.

Ce signal se ferme automatiquement dès la pénétration d'une circulation dans le canton qu'il commande et se rouvre automatiquement lorsque la circulation toute entière a libéré le canton. Certains signaux peuvent par ailleurs être tributaires de commandes manuelles indépendantes du block lui-même et associés à d'autres indications assurant d'autres fonctions. On distingue deux types de blocks automatiques : le Block Automatique Lumineux ordinaire (BAL) et le Block Automatique à Permissivité restreinte (BAPR).

En BAL, la constatation de l'état d'occupation ou de la libération d'un canton se fait par l'intermédiaire de circuits de voie. La gestion de la ligne sera assurée à partir d'un poste de commande centralisé positionné à Lima. Ce centre sera en outre doté d'une salle de crise pour la gestion des gros incidents pouvant survenir sur le réseau

### 3-5. Passages à niveau automatiques

Des systèmes de protection des passages à niveau permettent de sécuriser le trafic routier, lorsque celui-ci est en intersection avec la voie ferrée. Par conséquent, l'administration publique réglemente les caractéristiques des différents types de protection.

En réponse à ces besoins, nous avons choisi un système totalement flexible, modulaire et dynamique capable de satisfaire tous les besoins des clients, et ce dans les deux pays. Le système comprend tous les éléments nécessaires (capteurs, feux de circulation, cloches entre autres) pour un passage à niveau. Il est configurable, de manière à résoudre les différents problèmes et particularités qui peuvent survenir.

Le système de protection SPN pour passages à niveau est le système le plus avancé disponible sur le marché mondial. Il fonctionne avec une énergie propre, et est 100% réutilisable et écologique. Le système peut fonctionner sur câble ou radio, raccordé au réseau électrique général ou à l'énergie solaire. De récentes améliorations ont permis de réduire de façon significative les coûts généraux d'installation et de maintenance.

#### 4. Rolling stock

Le tout diesel ne permettrait pas l'utilisation des infrastructures existantes dans les tronçons alimentés. Or les moteurs diesels sont près de trois fois plus gourmands en énergie (pour un train de 1000t, une traction électrique consomme 16 Wh/Gt.km contre 45 pour une traction diesel), et nous écartons cette possibilité pour des raisons d'économie d'énergie.

Les trains à hydrogène sont en plein développement, et permettent, en plus d'un bilan carbone quasi nul, des performances tout à fait honorables. Cependant, le coût des installations pour transformer l'hydrogène est trop important. Il faudrait en installer quatre sur la longueur du parcours car l'autonomie d'un matériel roulant tracté grâce à l'hydrogène est d'un millier de km. Aussi, cette technologie est encore trop jeune pour équiper une telle ligne, dans des pays encore en développement.

##### **La proposition : une motorisation hybride pour les rames.**

Les constructeurs de matériels roulants proposent un catalogue dans lequel il faut faire son choix, et seule exception est faite pour les opérateurs de réseaux atypiques par leurs caractéristiques.

L'objectif est de choisir un matériel standard pour diminuer les coûts d'exploitation et de maintenance sur tout le cycle de vie.

Le choix se porte donc sur un matériel de type Coradia Polyvalent Hybride construit par Alstom :



## 5. Estimation du trafic et le plan de mobilité

Section	Travelers /day	Travelers /year
<b>In 2030</b>		
Equator (Quito - Border)	4416	1611840
North of Peru (Border - Lima)	24337	8882838
South of Peru (Lima - Arequipa)	18863	6884877
South-east of Peru (Nazca - Juliaca)	3320	1211719
<b>In 2040</b>		
Equator (Quito - Border)	4946	1805290
North of Peru (Border - Lima)	31595	11532097
South of Peru (Lima - Arequipa)	24488	8938255
South-east of Peru (Nazca - Juliaca)	4310	1573108

Le tracé du projet dessert les villes les plus importantes de l'Équateur et du Pérou, qui concentrent plus de 60 % de la population.

En tenant compte des estimations de croissance (0,9% par an au Pérou et 1,2 en Equateur), et des prévisions touristiques, nous avons calculé une projection de trafic pour 2030 et 2040 à gauche :

A l'horizon 2030, nous prévoyons un nombre total de 48 trains par jour, porté à 62 à l'horizon 2040.

Ces valeurs peuvent être augmentées ou diminuées, en fonction de la demande et de l'utilisation réelles du système. Une rame automotrice sera utilisée pour les circulations les plus importantes.

	Departures/day (Equator)	Departures/day (North of Peru)	Departures/day (South of Peru)	Departures/day (South-east of Peru)
<b>2030</b>	8, 4 in each direction	48, 24 in each direction	36, 18 in each direction	6, 3 in each direction
<b>2040</b>	10, 5 in each direction	62, 31 in each direction	48, 24 in each direction	8, 4 in each direction

Un coût total de 122 millions d'euros est prévu pour faire fonctionner le système, 70 000 000 pour l'entretien du matériel roulant, 46 millions pour l'énergie, 6 millions pour les ressources humaines. Le chiffre d'affaires estimé est estimé à 1,6 milliard d'euros chaque année. Le tarif sera aligné sur les prix des bus, car il s'agit du moyen de transport le plus utilisé dans les deux pays.

## 6. Etude sur le transport de marchandises

Les informations énoncées ici sont extraites du document du Ministère des transports péruviens intitulé « Plan Nacional de desarrollo ferroviario ». Dans cette étude, le trafic de fret est évoqué par corridor concernant les axes de circulations empruntés. Ci-après la carte de ces axes.

Estimation de l'assignation potentielle au transport ferroviaire :

- Pour le trafic "non minier", un pourcentage de captage de 50% a été appliqué.
- Pour le trafic minier, un pourcentage de captage de 70% a été appliqué.
- Pour trafics déjà desservis par les différents chemins de fer, un report de 100% a été appliqué.



- Pour les itinéraires dont le détail n'a pas pu être obtenu, au regard des éléments ci-dessus, nous retiendrons une moyenne de captage potentiel de 60%.

Le tonnage estimé en 2040 n'ayant pu l'être pour l'axe Quito / frontière ; nous prendrons comme base les tonnages échangés entre le Pérou et l'Equateur en 2017 (511000 tonnes). Une extrapolation de ce tonnage sera réalisée comparativement à l'évolution envisagée du Pérou. Les échanges donnés pour la côte nord dans le tableau 30 ayant quasiment doublé, nous appliquerons ici l'hypothèse d'une multiplication par deux des échanges Equateur / Pérou, soit 1022000 tonnes échangées en 2040, avec une assignation potentielle de 60% de ce tonnage (613200 T) au transport ferroviaire.

L'étude d'exploitation portera sur quatre axes appelés itinéraires et détaillés ci-après :

- 1) *Itinéraire 1 : Costero Norte (axe Lima- Frontière 1155 km)*
- 2) *Itinéraire 2 : Quito / Guayaquil / frontière (601 km dont 201 km à construire entre la frontière et Guayaquil)*
- 3) *Itinéraire 3 : Lima / Arequipa (1464 km, dont 948 km de voie à construire) itinéraire rejoignant la ligne ferroviaire existante à Cuzco via Nazca.*
- 4) *Itinéraire 4 : Costero Sur 916 km (Lima / Arequipa, itinéraire longeant la côte)*

## 7. Le Financement

Un financement d'origine internationale consistera en des prêts souverains contractés auprès de l'AFD (15%), la Banque Mondiale (20%) et CAF, Corporacion Andina de Fomento, (20%) qui est une banque de développement d'Amérique Latine.

Si le financement par des institutions Internationales pourrait prendre la forme de prêts souverains ou concessionnels, eu égard aux capacités financières de l'Equateur et du Pérou une partie importante devrait avoir lieu sous forme de subventions.

Puis, le financement étatique se déroulera comme suit : les états prendront directement à leur charge 40% du projet, répartis proportionnellement en fonction du kilométrage de voie construites sur le territoire et de l'avantage procuré à l'état :

- **Pérou : 35%, la quasi-totalité des nouvelles infrastructures étant sur son territoire.**
- **Equateur : 15%, avec seulement 200km de voies nouvelles sur son territoire.**

Ces infrastructures procurent cependant un avantage en termes d'échanges, car elles permettant de relier le port de Guayaquil au Pérou, et à plus long terme en faire une des portes d'entrée portuaires principales de l'Amérique du Sud côté Pacifique, reliée par le chemin de fer aux autres pays.

Au regard des coûts engendrés par le projet, des risques inhérents à celui-ci pour les états, il pourrait être envisagé d'émettre des obligations vertes ou green bonds par l'USDF afin de limiter l'emploi de fonds propres des états. (Rapports avec indicateurs écologiques de gains écologiques des projets...).

	Aujourd'hui	Demain avec Ferroviaire
Quito – Arequipa (voyageurs)	3167 km de route soit 46,5h selon Google Maps	2672 km de voies soit 12h de train à 220 km
Quito - Arequipa (marchandises)	100h de route	17h de train à 160 km/h

## 8. Planning et conditions de mise en œuvre

En additionnant toutes les différentes étapes clés de réalisation du projet, une capacité de construction de 200km de voies chaque année, et une organisation de la construction des lignes nouvelles par tronçons, comme présenté ci-dessous :

- Frontière Equateur / Pérou à Lima ;
- Guayaquil à la Frontière Equateur / Pérou ;
- Lima / Nazca / Cuzco (rejoint une ligne déjà existante jusqu'Arequipa)
- Nazca à Arequipa

L'échéance de construction des nouvelles infrastructures dépendra donc des capacités potentielles de financement aussi. Certains jalons du projet présentent des risques importants, notamment la durée d'acquisition des terrains, le financement, la capacité de construction et les impacts de construction des ouvrages d'arts. Ces risques devront être maîtrisés pour respecter le calendrier prévisionnel. Une attention particulière sera portée sur les phases de déviation des réseaux et la réalisation de la connexion entre les deux pays, mais aussi entre les lignes ferroviaires déjà existantes. Celles-ci sont connues pour être des phases longues et contraignantes.

L'analyse des impacts administratifs (non techniques) à considérer dans l'implantation et la construction du projet fait émerger le besoin d'une refonte institutionnelle et législative en profondeur. La mise en place d'un réseau de transport international entre deux pays requiert l'instauration d'une autorité organisatrice Nationale des transports mixte (Voyageurs et frets), placée sous l'autorité nationale dans chaque pays, qui aura pour responsabilité l'élaboration et la mise en place de la ligne ferroviaire durant les phases de projets avec les responsabilités suivantes :

- Constitution du dossier de financement, gestion des négociations techniques, suivi des étapes de constructions (dépenses) et des remboursements.
- Gestion de la coordination entre les deux pays, des connexions avec les lignes existantes, et surveillance des travaux.

- Constitution de personnel qualifié (conducteurs, contrôleurs, gérants des gares et des infrastructures, agents de centres de maintenances et de dépôts, ...).
- Régulation du trafic ferroviaire mixte.

Cette entité « binationale » sera un organe de collaboration entre les différents acteurs administratifs, de centralisation des besoins et de coordination des actions sur le terrain. Il pourra prendre des décisions en lien direct avec les besoins réels des administrés de la ligne dans chaque pays et en coopération entre les deux parties.

Le planning général simplifié de réalisation du projet peut être décrit en 3 phases :

- **Phase 1 : Phase d'avant-projet.**
- **Phase 2 : Phase travaux.**
- **Phase 3 : Phase exploitation et la connections**

La description des travaux s'inscrit dans un contexte de phasage, lié à l'importance et la complexité de l'environnement dans lequel ils s'inscrivent. Le phasage des travaux sur la ligne est déterminé en fonction du profil de la voie, des ouvrages d'arts, des gares, ainsi que des contraintes liées aux acquisitions foncières et à l'environnement.

Voici ci-dessous le détail de ces phases et du rôle de l'organisation constituée :

- **Phase 1 : Avant-projet**

L'AOT sera en charge de la collecte des besoins des différents acteurs du système de transport : chauffeurs et propriétaires, organismes gouvernementaux, entreprise nationale ferroviaire dans chaque pays, usagers, groupes politiques, groupes de financements.

Cette activité a l'objectif important d'instaurer un dialogue sur la base même du projet et ainsi réduire le risque de blocage d'ordre politique et social.

L'AOT aura aussi la charge de constituer des recommandations adressées à l'administration centrale dans chaque pays, et au corps législatif. Ces recommandations auront pour objectif l'activation du projet et la préparation du passage en phase exploitation.

Il ressortira de cette phase une feuille de route détaillée prenant en considération les attentes de toutes les parties, la définition d'une nouvelle régulation prenant en compte les exigences des différents acteurs, une assignation précise d'un ensemble de tâches à chaque entité administrative et un planning d'implémentation et de financement du projet.

- **Phase 2 : La réalisation**

Les premières responsabilités de cette entité dans la deuxième phase (dans chaque pays et en coopération entre les deux) sont la validation des acteurs, des diagnostics de faisabilité et du financement. Puis, il s'agira de s'assurer du bon déroulement des travaux, par la surveillance, la supervision des différents chantiers et la préparation de la phase d'exploitation par la recherche de partenaires (privés ou publics).

Cette entité, en partenariat avec les GI nationaux agira tout au long de cette phase comme maître d'ouvrage et sera en charge de s'assurer que les travaux effectués sont cohérents avec le cahier des charges. Afin de limiter les délais de réalisation, la réalisation des ouvrages d'art et des tunnels sera gérée hors lot, en parallèle de la construction de chaque section du projet.

- **Phase 3 : Exploitation et connexion**

A la livraison des travaux, plusieurs tâches incombent à l'AOT. Il s'agira principalement de la gestion des essais, de l'exploitation du projet et du maintien de la qualité de service. Cependant, il faudra aussi :

- Gérer l'allocation de ressources en cas de subventionnement par l'état
- Superviser l'attribution de licences d'exploitation dans chaque pays
- Entretien des infrastructures du réseau de transport public sous son autorité.
- Constituer et former du personnel (RH), et assurer la formation du personnel de régulation et d'exploitation.

Cet organisme supra-national pourrait aussi assurer la promotion du système auprès des usagers en développant des campagnes de communication et d'affichage afin d'accélérer l'adoption et l'intégration du système sur les réseaux nationaux et internationaux, que ce soit pour les voyageurs ou pour le fret. La construction d'une coopération avec les ports, les usines, les mines et les transporteurs est essentielle.

Les chemins de fer équatoriens et péruviens sont actuellement privatisés. La politique de développement et son financement ne pouvant se faire sans l'Etat, il importe que l'infrastructure soit entre les mains de celui-ci.

D'où la nécessité d'attirer des entreprises ferroviaires privées en charge des coûts du matériel et du personnel.

Concernant l'infrastructure, dans le cadre d'une intégration régionale par le biais du chemin de fer, nous proposons la création d'une entité autonome (Unión Sudamericana de Desarrollo Ferroviario, ou USDF) en charge de coordonner, et faciliter le développement du ferroviaire entre l'Equateur et le Pérou. Cette entité aura pour but de coordonner et superviser les investissements au niveau supranational via les gestionnaires d'infrastructure dans chaque pays en contractualisant avec eux.

L'USDF organisera les accords de partenariat entre les deux états pour les liaisons entre les deux pays (modalités réglementaires de licences ferroviaires...). Dans ces deux pays, les chemins de fer existants étant actuellement privatisés, chaque pays devra se doter d'un gestionnaire d'infrastructure lui appartenant et nommé «Empresa Nacional de Ferrocarriles».

## 9. Presentation par Méthode de BIM

- 1- [https://drive.google.com/file/d/1ZuorSQIhYDNBfsMnkS1\\_6C\\_pEUrx2Lvq/view](https://drive.google.com/file/d/1ZuorSQIhYDNBfsMnkS1_6C_pEUrx2Lvq/view)
- 2- [https://drive.google.com/file/d/1j1WZipwhW34J8DT2XGw9czxj1T\\_Rpl-Z/view](https://drive.google.com/file/d/1j1WZipwhW34J8DT2XGw9czxj1T_Rpl-Z/view)



## CONCLUSION

Le projet TransPérou pose ainsi toutes les problématiques de la création d'une ligne ferroviaire. Afin de répondre au besoin exprimé d'une connexion nord-sud entre Quito et Arequipa, l'étude en amont demandée a d'abord requis une étude de contexte. La géographie, la topographie et la climatologie complexes des deux pays ont conduit le tracé de la ligne nouvelle à suivre la côte sur une grande partie de sa longueur, en évitant les nombreux sites protégés que l'on retrouve dans ces zones historiques.

La démarche de création de cette ligne a également dû prendre en compte la très forte utilisation de la route, et emprunter les quelques infrastructures ferroviaires déjà existantes dispersées sur le territoire Péruvien.

Cette étude de contexte a également permis de mettre en avant les difficultés politiques historiques entre le Pérou et l'Equateur, qui s'estompent depuis une vingtaine d'années, mais aussi les difficultés d'instabilité politique propres à chaque pays, et le faible développement des économies respectives.

C'est ainsi que l'on constate que le caractère « transnational » de la ligne apporte de nouvelles problématiques notamment pour la création de l'entité supranationale en charge de la ligne du TransPérou. Les enjeux d'insertion et de connexion du territoire sont centraux.

Le tracé retenu dessert donc les villes de Quito, Guayaquil, Huaquillas au niveau de la gare « frontière », Lima, Nazca, avant de suivre une boucle pour atteindre Arequipa : la partie ouest de la boucle longeant la côte, la partie est desservant la ville de Cuzco avant d'atteindre le terminus sud de la ligne. Malgré l'optimisation maximale du tracé en évitant ou en regroupant les contraintes, de nombreux ponts et tunnels devront être construits, augmentant ainsi significativement le budget nécessaire à la réalisation du projet.

Aussi, nous avons opté pour des solutions de signalisation adaptées, en n'utilisant l'ERTMS que sur les tronçons prévus pour être les plus chargés. Les voies seront standard, aux normes européennes qui semblent se développer progressivement dans les deux pays.

Les études nécessaires à la constitution d'un plan d'exploitation nous ont permis de mettre en évidence un potentiel intéressant de besoin « voyageurs ». Le tracé choisi donne tous les moyens pour répondre au besoin de desserte sous-régionale, qui est stratégique au Pérou. En revanche, le bilan est plus nuancé pour le fret : les schémas de transports routiers sont très ancrés dans les mœurs, et les liaisons avec les ports sont primordiales. Des solutions ont été proposées pour répondre à ce problème. Nous avons donc choisi de réaliser nos études avec l'objectif de réaliser une ligne ferroviaire mixte.

La matériel roulant « voyageurs » sera hybride, car l'électrification de la ligne nouvelle sur ses 3 704 km serait financièrement injustifiée.

Ce seront donc une cinquantaine de trains de voyageurs qui seront proposés au lancement du projet dans les années 2030, qui pourront être soutenus par l'achat d'une dizaine de rames supplémentaires pour l'horizon 2040 en suivant les prévisions réalisées. Seuls la mise en service et le retour d'expérience de celle-ci permettront de déterminer avec précision les besoins de l'exploitation. Le plan d'exploitation proposé équilibre les dessertes des territoires avec les besoins estimés des populations.

De surcroît, la réalisation d'un projet d'une telle ampleur requiert un planning adapté. Ce projet s'inscrit dans une vision à long terme. Les phases d'avant-projet, de réalisation et de mise en exploitation ont été détaillées, tout comme la création d'une autorité organisatrice à laquelle on

accorde d'importantes compétences. Cette dernière aura le rôle principal pour la bonne réalisation et mise en service de la ligne du TransPérou.

Le financement du projet représente le plus grand obstacle à sa réalisation. Le coût estimé de plus de 200 milliards d'Euros est incomparable avec tous les projets ferroviaires jamais réalisés. De plus, l'on sait par expérience que le budget du génie civil est très régulièrement élargi au fur et à mesure de la réalisation des travaux. Bien qu'un plan de financement cohérent soit proposé, il devra au préalable être validé par tous les potentiels acteurs de celui-ci.

Ainsi, cette étude a mis en évidence un bilan mitigé. Le coût de réalisation de ce projet est extrêmement important. Le rôle de la communication sera immense pour le trafic voyageur, tout comme la concertation avec les acteurs du transport de marchandises pour le transport fret. Le potentiel est grand mais les risques le sont aussi. Même si en termes d'intégration régionale, de mobilité, de réduction de gaz à effet de serre, ce projet est une opportunité, les coûts liés à l'infrastructure sont un frein à majeur.

Lorsque l'on sait mesurer tous les bénéfices qu'apporte un système de transport bien développé, il est extrêmement formateur de travailler au renforcement des réseaux de deux pays en développement comme l'Equateur et le Pérou, et de tâcher de proposer les meilleures solutions aux contraintes qui s'y présentent.

## Références:

- IADB, 2015. Freight Transport and Logistics Statistics Yearbook. - <https://publications.iadb.org/handle/11319/6885#sthash.hcma43xl.dpuf>
- MTOP, 2016. Plan Estratégico de Movilidad (PEM) 2013 – 2037. - <http://mtop.gob.ec/el-mtop-trabaja-bajo-el-plan-estrategico-de-movilidad>
- WBG, 2016. The Logistics Performance Index and its Indicators. Trade Logistics in the Global Economy. <http://lpi.worldbank.org/report>
- WEF, 2016. The Global Competitiveness Report 2016-2017. - <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2016-2017-1>
- El Plan Estratégico de Movilidad [PEM] orienta el desarrollo del Sistema de Transportes de Ecuador, Le plan stratégique de mobilité [PEM] guide le développement du système de transport de l'Équateur 2013- 2037, 2015
- Données de l'UNESCO - <http://whc.unesco.org/fr>
- Projet de ligne ferroviaire de référence pour le calcul des coûts : DFBOT, Tren de Cercanias Lima – Ica, 2018.
- Le Point, article du 3 juin 2013 - [https://www.lepoint.fr/automobile/les-routes-du-perou-parmi-les-plus-mortelles-d-amerique-latine-03-07-2013-1690513\\_646.php](https://www.lepoint.fr/automobile/les-routes-du-perou-parmi-les-plus-mortelles-d-amerique-latine-03-07-2013-1690513_646.php)
- Présentation nationale du Pérou - <https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/dossiers-pays/perou/presentation-du-perou/>
- Histoire des deux pays - <https://www.franceinter.fr/emissions/les-histoires-du-monde/les-histoires-du-monde-03-octobre-2019>
- Prévission de croissance de la population entre 2020 et 2050 - <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/PerfilesNacionales.html?idioma=english>
- Données sur la population - <http://www.citypopulation.de/>
- Coût de la vie - [https://www.numbeo.com/cost-of-living/country\\_result.jsp?country=Peru](https://www.numbeo.com/cost-of-living/country_result.jsp?country=Peru)
- [https://www.numbeo.com/cost-of-living/country\\_result.jsp?country=Ecuador](https://www.numbeo.com/cost-of-living/country_result.jsp?country=Ecuador)
- <https://resourcetrade.earth/data?year=2017&exporter=76&importer=604&units=weight>