

L'identification et la hiérarchisation des technologies pour l'atténuation

- *Un guide pratique pour pouvoir effectuer
l'analyse multicritères (AMC)*

Partenariat PNUE-DTU

septembre 2015

Remerciements

Nous aimerions remercier Sara Trærup et Riyong Kim Bakkegaard, auteurs du guide pratique sur la hiérarchisation des technologies d'adaptation, guide qui nous a inspiré pour l'écriture de cette publication.

Nous aimerions également remercier Sara Trærup, Prakriti Naswa et Jorge Rogat pour avoir commenté et corrigé ce guide.

Les auteurs.

Tables des matières

Remerciements	2
Chapitre 1. Introduction.....	4
Chapitre 2. L'Analyse multicritères pour hiérarchiser les technologies d'atténuation	5
Étape 1 : Situer le contexte du processus décisionnel.....	6
Étape 2 : Identifier les options	7
Étape 3 : Identifier les critères	9
Étape 4 : Noter les technologies	11
Étape 5 : Attribuer des coefficients de pondération	14
Étape 6 : Combiner les scores et les poids.....	17
Étapes 7 et 8 : Analyser les résultats et effectuer une analyse de sensibilité	18
Références	20
Annexe A. Exemple de Fiche d'Information sur la Technologie	21
Annexe B. Pondération selon l'oscillation.....	23

Chapitre 1. Introduction

La Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) a pour but de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère « à un niveau qui empêcherait une interférence anthropogénique dangereuse avec le système climatique » (UN, 1992). Ces dernières années, un objectif commun a été établi pour limiter l'augmentation de la température sur le long-terme à moins de 2°C par rapport à la moyenne de la température globale pendant la période préindustrielle. Les pays en développement ont souligné le rôle que jouaient les technologies, la capacité, et les financements dans la réalisation des objectifs liés au climat. La mise en œuvre des technologies d'atténuation dans les pays en développement peut également contribuer à atteindre les objectifs prioritaires en matière de développement. Le développement, le transfert et la diffusion des technologies représentent donc des domaines de plus en plus prioritaires pour la communauté internationale.

Les actions d'atténuation ont besoin d'être intégrées au programme de développement des pays ; c'est pourquoi les technologies qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre devraient également procurer des avantages économiques, sociaux, et environnementaux connexes. Les méthodologies qui ne sont basées que sur les coûts des réductions de carbone, par exemple les courbes de coût marginal pour les abattements, ne sont, par conséquent, pas suffisantes. De la même façon, les techniques telles que l'analyse coût-bénéfice, qui peut intégrer plusieurs sortes de coûts et de bénéfices, nécessite que tous les bénéfices soient monétisés pour que l'on puisse faire des comparaisons. Or, la monétisation de tous les bénéfices n'est pas simple (Salling et Pryn, 2015). L'analyse multicritères est souvent utilisée par les décideurs pour identifier l'option préférée, pour classer les options, ou pour présélectionner un ensemble d'options. Cela permet au décideur d'analyser tous les bénéfices et les coûts sans avoir besoin de les monétiser.

Ce guide décrit le processus pour mener à bien l'exercice de hiérarchisation des technologies en se basant sur une analyse multicritères. L'objectif de ce guide est d'aider les consultants, les décideurs et les experts techniques, à réaliser et à faciliter la hiérarchisation des technologies d'atténuation. Ce guide a essentiellement été réalisé pour les personnes travaillant sur les Évaluations des Besoins Technologiques lors de la Phase II du projet de l'EBT.

Ce guide est complété par un outil Excel¹ qui fournit un modèle afin de pouvoir suivre les conseils donnés et de faire les calculs de base pour que le processus puisse être automatisé. L'outil Excel peut être utilisé pour classer les technologies et pour mener une analyse de sensibilité.

Que sont les technologies d'atténuation ?

Les technologies d'atténuation comprennent les technologies et les pratiques qui peuvent mener à une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ou à une amélioration de la capacité des puits de carbone à absorber les GES de l'atmosphère (IPCC, 2007). La définition des technologies

¹ Téléchargeable à l'adresse suivante : <http://www.tech-action.org/Resources>

d'atténuation varie selon les secteurs. Vous pouvez trouver une vue d'ensemble des technologies d'atténuation les plus communes classées dans les livrets EBT sur les technologies² et sur le wiki intitulé *Climate Techwiki*³.

Chapitre 2. L'Analyse multicritères pour hiérarchiser les technologies d'atténuation

Ce chapitre fournit une orientation étape par étape simple pour mener une analyse multicritères (AMC) afin de pouvoir hiérarchiser les technologies d'atténuation des effets du changement climatique.

L'AMC est un outil fréquemment utilisé pour le processus de prise de décision, y compris pour classer les options ou pour présélectionner un nombre limité d'options. Cet outil permet de combiner les critères qui sont évalués en termes monétaires avec les critères pour lesquels des évaluations monétaires n'existent pas. De plus, l'AMC combine l'utilisation de critères à la fois quantitatifs et qualitatifs. L'AMC permet d'utiliser toute une série de critères sociaux, environnementaux, techniques, économiques et financiers.

L'AMC peut ainsi fournir un cadre structuré pour comparer les technologies d'atténuation grâce à de multiples critères. L'AMC est un système qui repose sur les jugements. Il est donc important que le cadre reflète un jugement équilibré de la part de toutes les parties prenantes et qu'il soit développé grâce à un processus de consensus, en consultation avec toutes les parties prenantes pertinentes. Les commentaires des parties prenantes peuvent être obtenus par le biais de communications personnelles, d'interviews et/ou dans le cadre d'un atelier.

Les étapes pour mener à bien l'AMC présentées dans cette publication suivent l'approche décrite dans Dodgson et al. (2009) :

1. Situer le contexte du processus décisionnel, c'est à dire identifier les objectifs et déterminer les parties prenantes pertinentes ;
2. Identifier les options, c'est à dire les technologies d'atténuation qui seront comparées
3. Identifier les critères, c'est à dire les paramètres utilisés pour évaluer le degré auquel les technologies contribuent à la réalisation des objectifs ;
4. Décrire les résultats attendus pour chaque option à l'égard des critères.
5. « Pondérer », c'est à dire donner une valeur numérique (le poids) à chaque critère afin que cela reflète leur importance relative par rapport à d'autres critères utiles pour prendre la décision ;
6. Combiner les poids et les scores ;
7. Analyser les résultats ;
8. Mener une analyse de sensibilité.

² Disponible pour les secteurs de l'Agriculture, du Transport, et des Bâtiments. Ces publications sont disponibles à l'adresse suivante Internet: <http://www.tech-action.org/Publications/TNA-Guidebooks>

³ Une plateforme qui offre des informations détaillées sur un large ensemble de technologies d'atténuation et d'adaptation : <http://www.climatetechwiki.org/>

Les interrelations des étapes décrites ci-dessus sont illustrées dans la Figure 1. Il est courant, lorsque l'on procède à une AMC, de revenir sur les étapes précédentes et d'apporter des modifications.

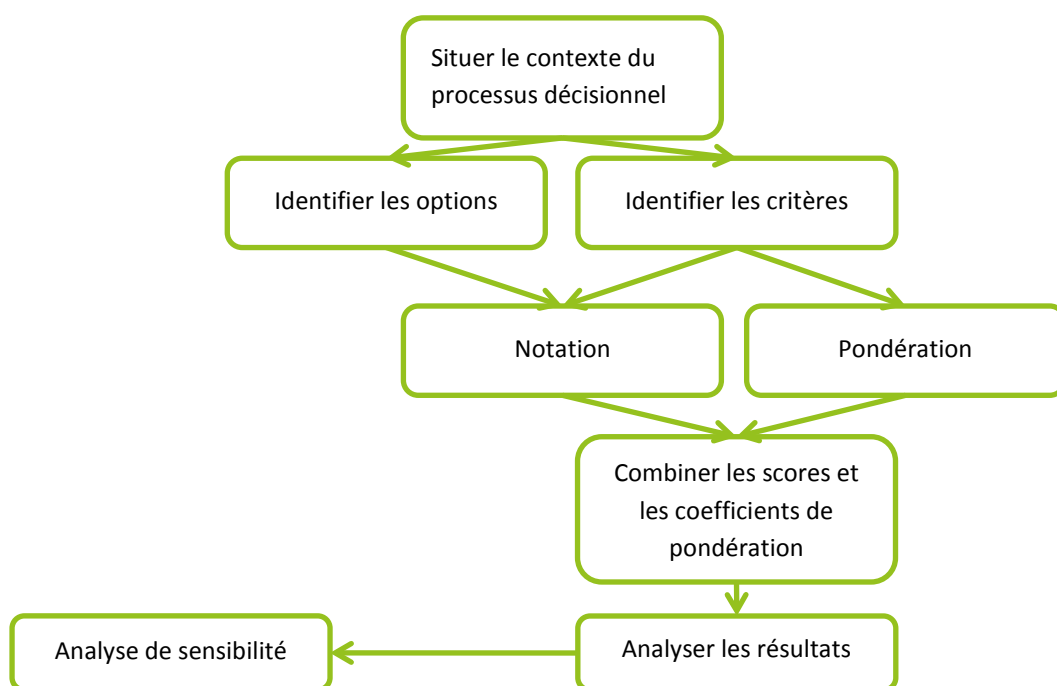


Figure 1 : Les étapes de l'analyse multicritère

Ce guide donne des exemples pour chaque étape du processus de hiérarchisation. Ces exemples sont à la fois des exemples tirés des expériences faites lors des Évaluations des Besoins Technologiques (EBT) pour les technologies d'atténuation, et des exemples stylisés. Lors d'une EBT, les technologies sont hiérarchisées au niveau sectoriel. C'est pourquoi les exemples donnés dans ce guide concernent la hiérarchisation des technologies au niveau sectoriel.

Étape 1 : Situer le contexte du processus décisionnel

La première étape du processus de hiérarchisation des technologies consiste à situer le contexte du processus décisionnel. Dodgson et al. (2009) définit le contexte du processus décisionnel comme l'environnement économique, politique, social et technologique dans lequel la décision est prise. Cependant, d'autres catégories telles que l'environnement institutionnel ou environnemental devraient être incluses dans le contexte de prise de décision d'après le cadre national.

Un bon processus décisionnel implique que les objectifs soient clairement identifiés. Les objectifs devraient être spécifiques, mesurables, réalisables, réalistes, et datés. Dans le cas des technologies pour l'atténuation, le processus de hiérarchisation est conduit dans le contexte des priorités nationales en matière de développement et changement climatique. Les objectifs qui définissent le contexte de prise de décision peuvent alors être définis en terme d'objectifs économiques, sociaux

ou environnementaux prenant en considération le contexte national vis à vis du changement climatique et du développement durable.

Les objectifs peuvent être définis en deux étapes. Tout d'abord, le consultant peut mettre en place les objectifs en étudiant les stratégies et les plans nationaux/sectoriels relatifs au climat et au développement. Il convient de noter que ces objectifs ont peut-être déjà été déterminés par les décisionnaires dans les plans nationaux ou sectoriels. Ensuite, le consultant devrait soumettre les objectifs fixés à des commentaires, des discussions et à la décision du groupe de travail sectoriel EBT. La mise en place du groupe de travail sectoriel EBT représente en soi un élément clé pour pouvoir situer le contexte du processus décisionnel⁴.

Contexte et objectifs dans le secteur des transports au Sri Lanka

Le nouveau cadre de développement national du gouvernement sri-lankais (« Mahinda Chintana : Idiri Dakma » - Vision pour un Sri Lanka nouveau (2010), a pour objectif d'accélérer la croissance en se concentrant tout particulièrement sur le développement équitable, sur la reconnaissance de la perpétuation des inégalités de revenus à la fois au niveau des personnes mais aussi au niveau des différentes régions. Ce nouveau cadre focalise sur trois domaines principaux : (i) assurer un développement plus équitable grâce à l'accélération du développement rural; (ii) accélérer la croissance en augmentant les investissements dans les infrastructures ; et (iii) le renforcement des dispositifs de prestation de services publics.⁵

Le Sri Lanka a choisi les secteurs suivants comme secteurs prioritaires pour l'atténuation des effets du changement climatique : les Transports, l'Énergie et l'Industrie. Cette sélection fut d'abord basée sur l'identification des secteurs par rapport aux priorités en termes de développement, puis ensuite sur l'identification des secteurs particulièrement pertinents en matière d'atténuation des GES et de contribution à la réalisation des priorités de développement. En termes de comptabilisation des GES, le secteur des transports fait partie du secteur de l'énergie et représente environ 50% des émissions de GES liées à l'énergie en 2000. Enfin, la liste des secteurs fut réduite sur la base de leur contribution au développement durable. Le secteur des transports joue un rôle important pour faire face aux défis liés à la pollution, à la réduction de la pauvreté et à l'amélioration de la compétitivité de l'économie ; ces points sont très clairement exposés dans la Stratégie de Développement Durable du Sri Lanka (SDDSL).

Des objectifs plus spécifiques dans le secteur des transports

En plus d'être un secteur qui émet énormément de GES, le secteur des transports représente le plus grand consommateur de pétrole importé par le Sri Lanka. Réduire la dépendance du Sri Lanka à l'égard des importations est donc un objectif connexe. Le secteur des transports est également responsable de plus de 60% de la pollution à Colombo ; pour cette raison, un autre objectif identifié pour ce secteur a été la réduction de la pollution.

Étape 2 : Identifier les options

Cette étape vise à identifier les options qui doivent être évaluées, dans notre cas, les technologies d'atténuation. Le produit de cette étape est une longue liste de technologies, établie pour chaque secteur pris en compte dans le processus de l'EBT.

⁴ Pour plus de détails, y compris une description des rôles, veuillez vous référer à la publication du PPD intitulée *Organisation du Processus d'Évaluation des Besoins en Technologie (EBT) : Une Note Explicative*. Cette publication est disponible à l'adresse suivante : <http://www.tech-action.org/Publications/TNA-Guidebooks>.

⁵ Pour plus d'informations, veuillez vous référer au rapport national du Sri Lanka (Wickramasinghe, 2011) que vous pouvez trouver à l'adresse suivante : <http://www.tech-action.org/Participating-Countries/Phase-1---Asia-and-CIS/Sri-Lanka>

L'identification des technologies pour l'atténuation des effets du changement climatique dans un secteur particulier peut être basée sur des informations provenant d'études déjà existantes, par ex. les plans nationaux et locaux, les stratégies de développement à faibles émissions de carbone, etc. Les consultants peuvent faire une étude documentaire de ce genre de documents afin d'identifier les options technologiques possibles. D'autres sources d'informations sur les technologies peuvent être : les livrets EBT sur les technologies sectorielles pour l'atténuation des effets du changement climatique⁶, des bases de données internationales sur les technologies telles que le wiki *Climate Techwiki*, les Perspectives en matière de Technologie Énergétique de l'AIE, etc. Une fois que le consultant a terminé cette étude documentaire et a créé une longue liste de technologies pour un secteur donné, la liste devrait circuler parmi les membres du groupe de travail sectoriel. Sur la base des retours des experts du groupe, d'autres technologies peuvent être ajoutées à cette longue liste. Le retour de la part du groupe de travail sectoriel et les discussions autour de cette liste devraient permettre d'aboutir à une longue liste de 10 à 12 options technologiques. Les technologies listées dans la longue liste seront évaluées lors des étapes ultérieures.

Le consultant devrait préparer des fiches d'information pour chacune des options technologiques. Ces fiches d'informations sur la technologie représentent un outil important pour pouvoir donner aux parties prenantes les informations les plus importantes concernant une technologie en particulier, et ce de manière concise. Vous pouvez trouver un exemple d'une fiche d'information sur une technologie dans l'Annexe A.

Identifier une longue liste de technologies pour le secteur des transports au Sri Lanka

Le nombre de véhicules importés et utilisés dans le pays a connu une augmentation considérable ces dernières années. Le transport routier joue un rôle important et propose une variété de technologies en matière de véhicules pour pouvoir répondre à la demande (Tableau 1).

Tableau 1 : Les technologies de transport routier au Sri Lanka

Véhicule	Type de combustible	Part de Transport de Passagers/Marchandises
Transport de passagers		
1. Bus	Diesel	48,3%
2. Voitures	Essence, Diesel, GPL, Hybride	13,2%
3. Utilitaires	Essence, Diesel	12,6%
4. Trois roues	Essence/GPL, Diesel	11,8%
5. Motos	Essence	6,5%
6. Chemins de fer	Diesel	4,3%
7. Poids lourds et autres véhicules	Diesel, Essence, GPL	3,3%
Transport de Marchandises		
1. Camions	Diesel	99%
2. Chemins de fer	Diesel	1%

⁶ Disponibles pour les secteurs de l'Agriculture, des Transports, et du Bâtiment. Vous pouvez trouver ces publications à l'adresse suivante : <http://www.tech-action.org/Publications/TNA-Guidebooks>

Le gouvernement tient à réduire la demande de véhicules et à réduire les externalités engendrées par leur utilisation, et a donc, en conséquence, promulgué certaines lois dans cette direction. Par exemple, l'âge des véhicules pouvant être importés a été réduit et est passé de 3,5 ans à 2 ans ; l'importation des trois roues ayant des moteurs à deux temps a été interdite, etc.

Les parties prenantes ont identifié une longue liste de technologies et de mesures qui pourraient aider à diversifier la combinaison des carburants, à réduire la dépendance envers le pétrole, et à réduire la pollution de l'air. Les technologies/actions suivantes ont été identifiées :

1. Un passage de 5% du transport de marchandises routier au transport de marchandises ferroviaire
2. L'amélioration des transports publics, en particulier dans la région de Colombo : introduction d'un réseau de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)
3. L'intégration de méthodes de transports non-motorisés à Colombo, en même temps que des réseaux de transports publics régularisés
4. Améliorer le système de régularisation des feux de la circulation afin qu'ils soient mieux synchronisés
5. Faire la promotion du co-voiturage et des systèmes de parcs-relais au moment des heures de pointe et sur les routes où se trouve un volume important de véhicules
6. Amélioration de l'état des voies secondaires
7. Rendre le système ferroviaire existant électrique
8. Faire la promotion et faciliter l'importation de véhicules hybrides générant peu d'émissions de GES
9. Augmenter l'utilisation d'essence plus propre (comme les gaz naturels comprimés (GNC) et les biocarburants)
10. Planter des arbres le long des routes et améliorer la végétation le long des routes en général

Étape 3 : Identifier les critères

Les critères sont les mesures de performance selon lesquels les options seront jugées. L'identification des critères selon lesquels les technologies seront classées, devrait être basée sur un processus clairement défini et transparent. Les membres du groupe de travail doivent comprendre la signification des critères et comment les critères sont établis, ainsi que les arbitrages implicites.

Les critères découlent des objectifs identifiés lors de la première étape. Cela signifie, dans le cas du processus de l'AMC pour la hiérarchisation des technologies d'atténuation, que les critères sont liés aux priorités des pays en matière de changement climatique et de développement.

Les critères doivent être divisés en sous-critères et être alors organisés en différents niveaux. Ces sous-divisions aident à comprendre comment les objectifs sont traduits en critères d'évaluation. Les critères devraient être choisis et classés selon le contexte national, en prenant en considération les besoins et les objectifs fixés pour un secteur en particulier. Les objectifs du secteur peuvent servir de critères de haut niveau, et peuvent être sous-divisés en critères de niveau inférieur. Par exemple, les objectifs de haut niveau peuvent être définis comme : minimiser les coûts, maximiser les avantages sociaux, économiques et environnementaux. Pour l'analyse de la technologie du climat, les critères peuvent être divisés en catégories très larges, relatives à la diffusion de la technologie, aux effets sur le développement durable et aux effets sur le climat, comme illustré à la Figure 2. Le site de MCA4Climate (<http://www.mca4climate.info/>) propose un modèle générique qui pourrait être utilisé comme point de départ pour définir les critères.

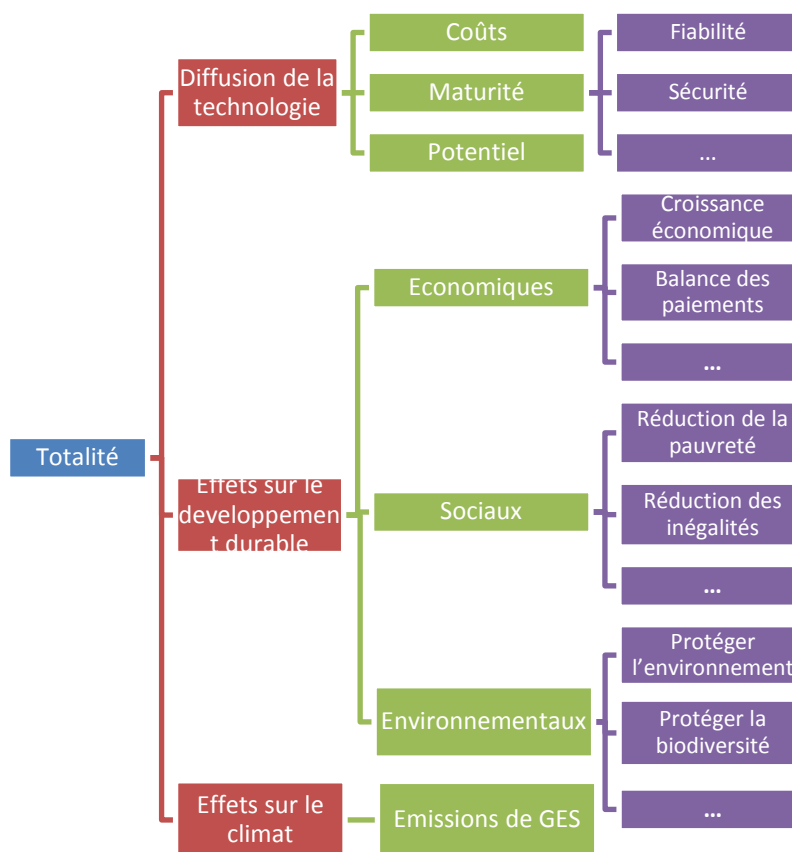


Figure 2 : Un exemple de modèle pour organiser les critères

Il est essentiel que les critères de niveau inférieur du modèle choisi soient opérationnels. En d'autres termes, il doit être possible de mesurer ou de juger selon ces critères, si les technologies obtiennent de bons résultats ou non.

La sous-division des critères en sous-critères permet de :

- S'assurer que tous les objectifs définis lors de la phase 1 soient pris en considération par les critères/sous-critères
- Vérifier que les critères sont indépendants des autres critères et qu'il n'y ait pas de redondances ;
- Vérifier que tous les critères soient bien définis et opérationnels ;
- Faciliter le processus qui consiste à pondérer les critères et les sous-critères.

Les critères devraient être sélectionnés via un processus participatif.⁷ Les consultants doivent faciliter la discussion. La liste initiale des critères peut être obtenue grâce à un processus de brainstorming, lors duquel toutes les suggestions peuvent être notées afin d'aboutir à une longue liste de critères. De cette manière, tous les points de vue exprimés par les parties prenantes peuvent

⁷ Pour des détails sur l'implication des parties prenantes, veuillez vous référer au guide *Identification and Engagement of Stakeholders in the TNA Process*. Ce guide est disponible à l'adresse suivante : <http://www.tech-action.org/Publications/TNA-Guidebooks>.

être pris en compte. La liste peut être réduite et organisée par le biais de discussions. Le nombre de critères devrait être aussi petit que nécessaire afin de prendre une décision bien fondée. Pour la hiérarchisation des technologies dans le cadre de l'EBT, il est conseillé de sélectionner 7 à 10 critères.

La sélection des critères pour le secteur des transports au Sri Lanka

Le Sri Lanka a classé ses critères en deux catégories : coûts et avantages (Tableau 2). Les coûts furent définis comme les coûts de la construction d'1 kilomètre d'infrastructure. Les avantages furent classés en catégories d'avantages économiques, sociaux et environnementaux. Ces trois catégories furent ensuite sous-divisées en d'autres catégories. Les critères sélectionnés reflètent les objectifs suivants : la réduction de la demande de pétrole, la réduction de la pollution de l'air et des émissions de CO₂, ainsi que la contribution au développement économique et social.

Tableau 2 : Les critères utilisés pour hiérarchiser les technologies dans le secteur des transports au Sri Lanka

Catégorie		Criteria
Coûts		Coûts en million de dollars US par km
Avantages	économiques	Création d'Emplois
		Économies d'essence par habitant
	sociaux	Avantages au niveau de la santé
		Durabilité
		Efficacité temporelle
	environnementaux	Réductions des émissions de CO ₂
		Amélioration de la qualité de l'air
		Réduction du Bruit

Étape 4 : Noter les technologies

A cette étape, la performance, puis les scores donnés à chaque technologie, sont évalués en fonction de chaque critère de plus bas niveau.

Pour commencer le processus de notation, la performance de chaque option technologique doit être évaluée en fonction de chaque critère. Cette évaluation peut-être résumée dans une matrice de performance où les options technologiques sont listées en lignes et les différents critères apparaissent dans des colonnes. Chaque cellule décrit la performance d'une option par rapport à un critère (Tableau 3). La performance peut être décrite qualitativement, peut inclure des avis d'experts, ainsi que des données quantitatives.

Tableau 3 : Exemple d'une matrice de performance (exemple élaboré par les auteurs à titre d'illustration)

Option	Coût en capital/ par unité produite	Réductions des émissions de GES	Économies d'eau	Rendement des cultures
Unité /Échelle	En USD/tonne de rendement de culture	kgCO ₂ e /tonne	Élevées /Faibles	Échelle de 5 points
A	350	150	Élevées (2)	Augmente (4)
B	200	100	Faibles (1)	Augmente considérablement (5)
C	250	200	Faibles (1)	Aucun changement (3)
D	225	175	Élevées (2)	Aucun changement (3)
Valeur préférée	Plus faible	Plus élevées	Plus élevées	Plus élevé
Sources des données	Fournisseur de la technologie, spécifications	Spécifications techniques, modélisation	Avis des experts	Avis des experts / données de surveillance

La performance est attribuée par le biais d'un processus participatif (organisé en ateliers tenus au niveau des groupes de travail sectoriels) durant lequel le consultant de l'EBT prendra le rôle de facilitateur.

Pour permettre la comparaison de différents critères évalués en utilisant une variété d'unités et d'échelles, il est important de parvenir à avoir une échelle de mesure commune, en d'autres mots, de normaliser les valeurs de la matrice de performance. Cela résultera à avoir une matrice de notation dans laquelle l'échelle est la même pour tous les critères : de 0 à 100. Pour chaque critère, l'option préférée obtiendra le score 100, alors que l'option la moins préférée obtiendra le score 0. Les scores des options reflèteront les différences du degré de préférence. Les valeurs dans la matrice de performance peuvent être normalisées en utilisant la formule (a) si la valeur préférée est plus haute, et la formule (b) si la valeur préférée est plus basse :

$$Y_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} * 100 \quad (a)$$

$$Y_i = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} * 100 \quad (b)$$

En sachant que : Y_i est le score de l'option i ; X_i est la performance de l'option i ; X_{max} , X_{min} sont les performances les plus élevées et les moins élevées parmi les options. Il faut répéter le même processus pour chaque critère.

Les scores normalisés peuvent être calculés par le consultant et peuvent être présentés sous la forme d'une matrice qui sera l'objet d'une autre discussion avec les parties prenantes. Lorsqu'un

indicateur est basé sur une échelle qualitative dans la matrice des performances, il peut être utile d'ajuster les scores normalisés en utilisant les appréciations des parties prenantes. Prenons l'exemple des économies d'eau indiquées sur une échelle qualitative comme illustré dans le Tableau 3 ci-dessus. Après le processus de normalisation, les options A et D devraient obtenir un score de 100 et les options B et C un score de 0. Les technologies A et D peuvent être étudiées plus en détails afin de déterminer lesquelles d'entre elles seraient les mieux appropriées pour parvenir à réaliser des économies d'eau. Par exemple, si on détermine que la technologie A est plus appropriée pour faire des économies d'eau que la technologie D, les parties prenantes peuvent alors décider d'attribuer un score légèrement plus bas à l'option D (voir Tableau 4). Des comparaisons et ajustements similaires peuvent être réalisés pour les technologies B et C.

Tableau 4 : Exemple d'une matrice de notation (élaboré par les auteurs à titre d'illustration, à partir du Tableau 3)

Option	Coût du capital/ par unité de rendement augmenté	Économies d'émissions	Économies d'eau	Rendement des cultures
A	0	50	100	50
B	100	0	0→20	100
C	66,67	100	0	0
D	85	75	100→80	0

Le consultant se doit de créer un consensus⁸ parmi les membres du groupe de travail sur un score spécifique pour chaque technologie d'après le critère respectif. Afin d'obtenir un score pour chacun des critères et des technologies, il est conseillé que le groupe débatte et vote sur un seul critère à la fois. Les désaccords doivent être enregistrés et analysés ultérieurement en effectuant une analyse de sensibilité (voir l'Étape 8).

⁸ Pour une compréhension plus approfondie de comment créer un consensus, impliquer les parties prenantes et gérer les désaccords, vous pouvez vous référer au guide sur *l'Identification and Engagement of Stakeholders in the TNA Process*. Celui-ci est disponible à l'adresse suivante : <http://www.tech-action.org/Publications/TNA-Guidebooks>.

Noter les options technologiques dans le secteur des transports du Sri Lanka

La première étape consiste à ce que les parties prenantes aient une discussion préliminaire concernant les 10 options technologiques sélectionnées, et que seulement 7 des options soient gardées pour les étapes d'évaluation des performances et de notation. Les trois options ne furent pas incluses pour les raisons suivantes : deux d'entre elles étaient déjà traitées dans l'analyse du secteur énergétique, quant à la troisième, elle fut considérée ne pas être suffisamment éprouvée et trop incertaine pour pouvoir être évaluée.

Grâce aux différents critères, les consultants furent capables de quantifier les coûts et ces coûts furent ensuite normalisés, ce qui a donné un résultat sur une échelle de 0 à 100 minutieusement examiné par les parties prenantes. Les critères restants furent directement examinés par les parties prenantes qui les ont jugés sur une échelle de 0 à 100. La procédure de normalisation pour les critères liés au coût est illustrée dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Performance et notes en termes de coûts pour les options technologiques dans le secteur des transports du Sri Lanka

N° de la tech.	Option technologique	Coût/km en millions de USD	Calculs (formule (b))	Note normalisée
1	Transfert de 5% du transport de marchandises routier au transport de marchandises ferroviaire	5	$\frac{5 - 5}{5 - 0,16} * 100$	0
2	Amélioration des transports publics, en particulier dans l'agglomération de Colombo : Introduction d'un réseau de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)	3	$\frac{5 - 3}{5 - 0,16} * 100$	41,32
3	Intégration de méthodes de transports non-motorisés à Colombo, en même temps qu'un réseau de transports publics régularisé	0,17	$\frac{5 - 0,17}{5 - 0,16} * 100$	99,79
4	Amélioration du système de contrôle des feux de circulation afin qu'ils soient synchronisés	0,6	$\frac{5 - 0,6}{5 - 0,16} * 100$	90,91
5	Faire la promotion du co-voiturage et des parcs-relais en période d'heures de pointe et sur les axes routiers qui ont de larges volumes de véhicules	0,35	$\frac{5 - 0,35}{5 - 0,16} * 100$	96,07
6	Amélioration de l'état des axes secondaires	0,16	$\frac{5 - 0,16}{5 - 0,16} * 100$	100,00
7	Rendre le réseau ferroviaire existant électrique	0,75	$\frac{5 - 0,75}{5 - 0,16} * 100$	87,81

Étape 5 : Attribuer des coefficients de pondération

Une fois que toutes les options technologiques ont été notées sur une échelle de 0 à 100 par rapport à tous les critères, les scores ne peuvent pas être encore combinés car certains des critères peuvent

être considérés plus importants que d'autres. Les coefficients de pondération sont des valeurs que l'on attribue à chaque critère afin de refléter l'importance relative d'un critère par rapport à un autre. Deux principes doivent être suivis lorsque l'on attribue les coefficients de pondération. D'abord, l'importance du critère doit être pris en compte dans le contexte du processus décisionnel. Par exemple, si le critère concernant la croissance économique est évalué comme étant plus important que celui sur l'environnement, alors le coefficient de pondération du premier sera plus élevé que celui du second. Ensuite, il est important de prendre en considération comment les performances « oscillent » entre les options préférées (score de 100) et les options les moins recommandées (score de 0) selon les différents critères⁹. D'après le second principe, si l'écart entre l'option préférée et l'option la moins recommandée est faible par rapport à un critère, alors ce critère aura un coefficient de pondération plus bas.

Il existe plusieurs méthodes pour attribuer des coefficients de pondération à des critères : tout simplement donner des poids égaux, utiliser des méthodes statistiques, ou bien des méthodes participatives. Puisque l'EBT est un processus participatif, et qu'il est par conséquent crucial que l'avis des parties prenantes soit pris en considération, une méthode souvent utilisée pour attribuer des coefficients de pondération dans le cadre de l'EBT est la méthode d'allocation budgétaire. Dans ce cas, l'attribution de coefficients de pondération est réalisée via un processus participatif. On donne aux parties prenantes un budget de 100 points. Les parties prenantes doivent décider de comment distribuer ce budget en prenant en compte les principes décrits un peu plus haut dans ce guide. L'opinion des parties prenantes peut être obtenu par le biais de discussions dont le but est de parvenir à un consensus. Les parties prenantes peuvent également écrire leur opinion de manière anonyme et les facilitateurs/consultants peuvent ensuite faire une moyenne des différentes opinions exprimées. Dans les deux cas de figures, des différences importantes ou des opinions divergents devraient être notés puis pris en compte lors de l'analyse de sensibilité (Étape 8). Moins il y a de critères, plus le processus d'attribution de coefficients de pondération est facile. De la même façon, ce processus est plus simple si les critères sont classés en catégories (Étape 3). S'il existe seulement un niveau de critère, les coefficients de pondération peuvent être directement attribués (voir le Tableau 6 pour exemple).

Table 6 : Un exemple illustrant l'attribution de coefficients de pondération à un seul niveau (exemple élaboré à titre d'illustration)

Critères	Coefficients de pondération
Coût du capital/ par unité de rendement augmenté	22
Réductions d'émissions	35
Économies d'eau	25
Rendement agricole	18

Lorsque les critères sont organisés par catégories/en arborescence, la procédure de pondération est la suivante :

⁹ On peut utiliser la pondération selon l'oscillation dans le but de prendre cela en compte. Vous pouvez trouver une brève explication illustrée d'un exemple dans l'Annexe B.

1. Les coefficients de pondération sont d'abord attribués aux catégories de critères de niveau supérieur (Tableau 7) (la somme des coefficients = 100)

Tableau 7 : Exemple d'attribution des poids aux catégories de niveau supérieur (conçu à titre d'illustration)

Catégories de critères	Coefficients de pondération
Coûts	20
Répercussions économiques	30
Répercussions sociales	30
Répercussions sur l'environnement	20
Total	100

2. Des points sont attribués aux critères de chaque catégorie de niveau supérieur (leur somme = 100 pour une catégorie)

3. La totalité des poids pour chaque critère de niveau inférieur est obtenue en multipliant les poids d'une catégorie par le poids attribué par une catégorie supérieure. À la fin de cette procédure, la somme des poids des niveaux les plus bas, devrait être égale à 100 (Tableau 8)

Tableau 8 : Exemple d'attribution des poids à l'intérieur des catégories (élaboré à titre d'exemple)

Catégorie de critères	Critère	Poids de la catégorie (%)	Poids total (%)
Coûts (20%)	Coût d'une installation de transformation énergétique	100	100%*20%=20%
Répercussions économiques (30%)	Avantages économiques locaux	66 (2/3)	66%*30%=20%
	Part locale de la technologie	33 (1/3)	33%*30%=10%
Répercussions sociales (30%)	Création d'emplois	30	30%*30%=9%
	Développement des Compétences et des Capacités	30	30%*30%=9%
	Sécurité énergétique	40	40%*30%=12%
Répercussions sur l'environnement (20%)	Réduction des émissions de GES	40	40%*20%=8%
	Répercussions positives sur l'environnement local	60	60%*20%=12%
Total			100%

L'exemple ci-dessus montre les critères organisés en deux niveaux de catégories. Si l'on a plus de niveaux, le processus (les étapes 2 et 3 mentionnées ci-dessus) est répété jusqu'à ce que l'on ait attribué des poids au niveau de critère le moins élevé.

Pondérer les critères dans le secteur des transports au Sri Lanka

La pondération a été effectuée au plus bas niveau de critères, ce qui implique que les avantages aient reçus un poids beaucoup plus élevés si on les compare à ceux des coûts, puisqu'il y avait un nombre plus important de sous-critères pour cette catégorie.

Tableau 8 : Les critères et leurs poids dans le secteur des transports au Sri Lanka

Catégorie		Critère	Facteur de pondération
Coûts		Coût par km en million de USD	13,2
Avantages	Économiques	Création d'emplois	7,9
		Économies d'essence par habitant	13,2
	Sociaux	Avantages au niveau de la Santé	10,5
		Durabilité	10,5
		Efficacité temporelle	10,5
	Environnementaux	Réductions des émissions de CO ₂	13,2
		Amélioration de la qualité de l'air	10,5
		Réduction du bruit	10,5

Étape 6 : Combiner les scores et les poids

A cette étape, les poids et les scores attribués à chacune des technologies, sont combinées afin de calculer le score final : le score pondéré final de chaque technologie.

Le score pondéré final d'une technologie est la somme de ces scores par rapport à chaque critère, multipliée par les poids correspondant.

Le score de l'option technologique est donc égal à $i : S_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{ij}$, où w_j est le poids du critère, et s_{ij} le score de l'option i sur la base du critère j

Tableau 9 : Exemple des valeurs données aux scores finaux

Option	Coût du capital/ par unité de rendement augmenté	Réductions des émissions	Économies d'eau	Rendement des cultures	Score final
	22	35	25	18	
A	0	50	100	50	51,50
B	100	0	20	100	45,00
C	66,67	100	0	0	49,67

D	85	75	80	0	64,95
---	----	----	----	---	-------

Cette étape peut être réalisée par le consultant en utilisant une feuille Excel¹⁰.

Combiner les poids et les notes dans le secteur des transports du Sri Lanka

Après avoir complété la notation par rapport à tous les critères sur une échelle de 0 à 100, les consultants ont multiplié les notes par les poids des critères correspondants, donnés en pourcentage. Les scores pondérés pour chaque technologie furent indiqués sous la forme d'une matrice (Tableau 11) et le résultat fut l'objet d'une discussion avec les parties prenantes.

Tableau 10 : Matrice des scores finaux incluant les scores pondérés

Numéro de la technologie	Coût pondéré	Scores pondérés								Score total	Avantages
		Environnementaux			Sociaux			Économiques			
		Réduction de CO ₂ /km	Qualité de l'air à partir de carburant moins polluant	Réduction du Bruit	Bienfaits pour la santé	Durabilité	Rendement temporel	Économie de combustibles par habitant	Création d'emplois		
1	0	0	0	2,63	3,51	0	0,42	0	0	6,56	6,56
2	5,44	7,69	5	7,89	7,02	10,53	4,21	7,87	0	55,65	50,21
3	13,13	13,16	11	7,89	10,53	0	0	13,6	7,89	77,2	64,07
4	11,96	0	0	0	0	5,26	3,16	0	7,89	28,27	16,31
5	12,64	12,17	5	7,89	3,51	5,26	3,16	12,21	7,89	69,73	57,09
6	13,16	0	0	0	0	5,26	0	0	0	18,42	5,26
7	11,55	12,85	5	10,53	7,02	10,53	10,5	13,02	7,89	88,89	77,34
Facteur de pondération	13,2%	13,2%	10,5%	10,5%	10,5%	10,5%	10,5%	13,2%	7,9%		

Étapes 7 et 8 : Analyser les résultats et effectuer une analyse de sensibilité

Le processus suivi à l'étape 6 permettra d'obtenir une liste des technologies avec leurs scores totaux, dérivés de leurs scores en fonction des critères et des poids attribués à chaque critère, tel que cela a été identifié par les parties prenantes. Les technologies peuvent alors être classées selon le total de leur évaluation. La technologie qui obtient le score pondéré le plus haut est classée comme

¹⁰ Un modèle est disponible sur le site Internet EBT : <http://www.tech-action.org/Resources>, sous l'onglet intitulé *Analytical Tools*.

technologie préférée, alors que celle ayant obtenu le score pondéré final le plus bas sera classée comme l'option la moins recommandée.

Une fois que la liste des technologies classées par ordre de priorité est terminée, les résultats devraient être partagés avec les parties prenantes afin qu'ils fassent l'objet d'une discussion et d'une analyse. Le but est d'observer si les résultats correspondent aux résultats auxquels on aurait pu s'attendre si le contexte national avait été pris en compte, et de détecter s'il y a des incongruités dans le processus. Cela représente également une opportunité pour les parties prenantes d'exprimer leurs opinions quant aux résultats et d'ouvrir la voie à des discussions plus approfondies. A ce niveau, on peut alors procéder à une analyse de sensibilité en changeant les valeurs des poids attribuées aux critères, et en voyant si l'ordre de priorité des technologies classées est touché par ces changements. L'analyse de sensibilité est particulièrement importante lorsque les parties prenantes sont en sérieux désaccord, par exemple sur les poids attribués sur un ou quelques indicateurs. De la même façon, une analyse de sensibilité peut être effectuée pour les scores donnés aux différentes options technologiques afin de tester les effets des incertitudes relatives aux données, ou des écarts dans l'attribution des valeurs.

Le peaufinage et l'analyse de sensibilité – Secteur des Transports au Sri Lanka

Afin de procéder à la hiérarchisation des technologies, l'équipe du Sri Lanka a calculé les avantages et les coûts monétaires de manière séparée et la priorité avait été donnée aux technologies qui avaient obtenu un meilleur ratio avantages/coût. Des graphiques (Figure 3) ont été utilisés afin de facilement communiquer le ratio avantage/coût aux parties prenantes.

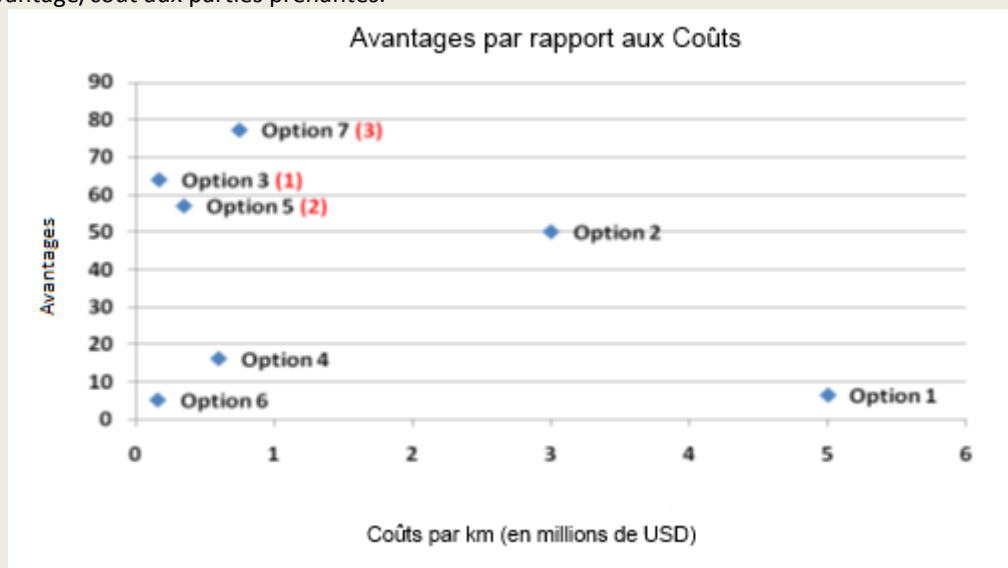


Figure 3 : Graphique sur les Bénéfices par rapport aux Coûts dans le secteur des transports au Sri Lanka

Les différences de scores et de poids furent utilisées pour obtenir des ensembles de résultats alternatifs et furent présentées sous forme de graphique aux parties prenantes. L'analyse de sensibilité effectuée par la suite n'a pas montré de changements notoires au niveau des résultats. Ainsi, les trois technologies suivantes furent les technologies définies comme prioritaires au final :

1. L'introduction de méthodes de transport non-motorisés à Colombo, en même temps qu'un réseau de transport public régulé
2. La promotion du co-voiturage et de systèmes de parcs-relais pendant les heures de pointes et sur les axes qui ont des volumes importants de véhicules
3. Rendre le système ferroviaire actuel électrique

Références

CIFOR (1999). Guidelines for Applying Multi-Criteria Analysis to the Assessment of Criteria and Indicators. 9. The Criteria & Indicators Toolbox Series. Center for International Forestry Research (CIFOR). Disponible à l'adresse suivante:

http://www.cifor.org/livesinforessts/publications/pdf_files/toolbox-9c.pdf

Dhar, Subash; Jyoti Painuly, Ivan Nygaard et Jorge Rogat (2014). *Organising the National Technology Needs Assessment (TNA) Process: An Explanatory Note* (Révisée), UNEP DTU Partnership (UDP) Danemark

Dodgson, JS, Spackman, M, Pearman, A et Phillips, LD (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. Department for Communities and Local Government: Londres. Disponible à l'adresse suivante : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7612/1132618.pdf

Salling, Kim Bang et Marie Ridley Pryn (2015) Sustainable transport project evaluation and decision support: indicators and planning criteria for sustainable development, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22:4, p. 346-357.

UDP (2014). *Organising the National TNA Process: An Explanatory Note. Édition révisée*. UNEP DTU Partnership, Copenhague

UDP (2015a). *MCA Guidance for Adaptation Technologies*. UNEP DTU Partnership, Copenhague

UDP et Libélula (2015). *Identification and Engagement of Stakeholders in the TNA Process: A Guide for National TNA Teams*. UNEP DTU Partnership, Copenhague

UN (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations.

UNEP (2011). *MCA4climate*. En ligne à l'adresse suivante : < <http://www.mca4climate.info/>>

UNFCCC (2002). Annotated guidelines for the preparation of National Adaptation Programmes of Action. Least Developed Countries Expert Group. Disponible à l'adresse suivante : http://unfccc.int/resource/docs/publications/annguid_e.pdf

URC (2011c). *Technologies pour l'Atténuation des Effets du Changement Climatique – Le Secteur des Transports*. Série des Livrets EBT. Centre PNUE à Risoe, Roskilde

URC (2012a). *Technologies pour l'Atténuation des Effets du Changement Climatique - Le Secteur de l'Agriculture*. Série des Livrets EBT. Centre PNUE à Risoe, Roskilde

URC (2012b). *Technologies pour l'Atténuation des Effets du Changement Climatique – Le Secteur du Bâtiment*. Série des Livrets EBT. Centre PNUE à Risoe, Roskilde

Wickramasinghe, W.R.M.S. (éditeur) (2011). *Technology Needs Assessment and Technology Action Plans for Climate Change Mitigation*. TNA Report. Ministry of Environment and Renewable Energy, Sri Lanka.

Annexe A. Exemple de Fiche d'Information sur la Technologie

TRANSFERT MODAL DE 5% DANS LE DOMAINE DU TRANSPORT DE MARCHANDISES

1. Secteur : Les Transports

2. Introduction : Le secteur des Transports est un secteur qui émet beaucoup de gaz à effet de serre (GES) au Sri Lanka. Ce secteur est à l'origine de 60% de la pollution de l'air (en particulier dans la ville de Colombo) (AirMAC, 2009). Le principal moyen de transport est le transport routier ; celui-ci est complété par le transport ferroviaire, aérien et maritime. Les bus représentent environ 50% du transport terrestre de passagers, les trains transportent environ 4% des passagers, alors que le reste des passagers est transporté par d'autres moyens. (Jayaweera, 2011). Le transport routier représente 96% du transport de passagers et 99% du transport de marchandises (Jayaweera, 2011). Actuellement, le secteur des transports au Sri Lanka utilise des carburants à base de combustibles fossiles dérivés du pétrole, ce qui génère des volumes de CO₂ importants et d'autres émissions GES (par exemple le N₂O ou CH₄), en jeu dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) et du Protocole de Kyoto. Le transfert de technologie, défini comme le flot d'expérience, de savoir-faire et de l'équipement entre les pays, est une des priorités de la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). L'Évaluation des Besoins Technologiques (EBT) est un élément clé dans le transfert de technologie et elle est réalisée dans le but de progresser en direction de technologies moins polluantes qui émettent moins de GES.

3. Nom de la technologie : Transfert d' ~5% du transport de marchandises routier au transport de marchandises ferroviaire

4. Caractéristiques de la technologie : Actuellement ~ 1% du transport de marchandises est réalisé par voies ferroviaires. Du fait de la congestion, de la consommation d'énergie et des émissions de GES croissantes générées par le transport de marchandises routier, il est bénéfique de transférer au moins 5 pourcent du transport de marchandises routier vers le transport ferroviaire. Utiliser le transport ferroviaire pour les marchandises équivaut à une consommation de seulement 23 grammes de CO₂ par tonne-km effectué, alors que le transport routier des marchandises émet 61 grammes de CO₂ par tonne-km effectué (ADB, 2010).

5. Spécifique au pays/applicabilité : Ceci est un objectif réalisable, en particulier grâce à des partenariats public-privé avec le réseau ferroviaire public et les parties prenantes pertinentes du secteur privé. La construction de nouvelles infrastructures afin de pouvoir charger et décharger les marchandises dans les chemins de fer implique un coût initial élevé et il faut donc planifier le tout correctement avant de mettre en place l'augmentation du transport de marchandises ferroviaire via ce mode de transport dans le pays afin de s'assurer que cela reste rentable.

6. Le statut de la technologie dans le pays et son futur marché potentiel : Le réseau de chemin de fer au Sri Lanka fut initialement construit pour, et utilisé par, le transport de marchandises (par ex. pour le matériel de plantation) au temps de la domination britannique. La première ligne de chemin de fer fut construite entre Colombo et Kandy. Le transport de ce genre de marchandises a duré pendant des années et, au cours du temps, avec l'augmentation de la population et du trafic, le transport ferroviaire se tourna vers le transport de passagers. En 1979, 32 pourcent du transport de marchandises se faisait par le biais du réseau ferroviaire mais il a chuté considérablement depuis (Ministère des Transports, 2008). La guerre civile des trois dernières décennies a gravement touché le réseau ferroviaire dans les régions plus au nord.

La politique nationale prévisionnelle en matière de transports promeut le recours au réseau ferroviaire pour le transport de marchandises. Le développement d'infrastructures appropriées pourrait entraîner un plus grand nombre de partenaires issus du secteur privé à utiliser le réseau ferroviaire pour le transport des marchandises, en particulier le transport de marchandises exportées et des conteneurs qui nécessitent plus d'être transportées via le réseau ferroviaire domestique sur plus de 200km.

7. Barrières : Au Sri Lanka, le transport de marchandises a attiré moins d'attention que celui des passagers, et ce même au niveau politique. Il y a peu d'espace disponible et peu d'installations pour le chargement et le déchargement des marchandises et pour garer les camions porte-conteneurs à proximité des gares. Une des barrières principales au transfert modal est le niveau d'investissement nécessaire élevé pour les infrastructures et les installations de transport intermodal (étant donné que le transport ferroviaire de marchandises nécessite toujours le pré- et post-acheminement de la marchandise par des camions).

8. Avantages :

a. Socioéconomiques

- Moins de consommation d'essence et une meilleure efficacité énergétique.
- Réduction de la congestion du trafic, en particulier dans les zones très peuplée et pendant les heures de pointe.
- Moins de retard, en particulier dans les zones très peuplées et lors des heures de pointe
- Éviter les délais d'attente liés au trafic et dus au transport des marchandises par camions ; circulation plus fluide des autres véhicules et moins de ralentissement de la circulation sur les routes.

b. Environnementaux

- Une consommation d'essence plus basse et une meilleure efficacité énergétique ont pour conséquences la baisse des émissions de GES.

9. Fonctionnement : -

10. Coût : Le transfert modal de la route vers le rail nécessite un investissement initial important pour développer les infrastructures et les installations intermodales. Cependant, les avantages sur le long-terme sont plus élevés.

Annexe B. Pondération selon l'oscillation

La méthode de pondération selon l'oscillation appelée pondération « swing » (Dodgson et.al, 2009), est fondée sur des comparaisons de différences, c'est à dire, comment la variation de performance entre 0 et 100 à l'égard d'un critère se compare à la variation de performance entre 0 et 1 d'un autre critère. Les parties prenantes devraient prendre en considération à la fois la différence au niveau de la performance mais aussi combien cette différence leur est importante.

Le Tableau 12 montre la procédure de calcul de pondération qui prend en compte l'oscillation avec deux des critères (le coût capital et les réductions d'émissions) à partir de l'exemple stylisé présenté dans Tableau 3 et 4. Si cette évaluation ne comprenait que ces deux critères, les poids d'oscillation seraient de 0,43 et 0,57. L'exemple utilise des données quantitatives afin de contribuer à expliquer le concept. Cette méthode de pondération peut être néanmoins utilisée avec des données qualitatives.

Tableau 11 : Exemple illustrant le calcul de poids selon l'oscillation

Option	Coût du capital/ par unité de rendement augmenté	Réduction des émissions
Option préférée	B	C
Option la moins recommandée	A	B
Différence en valeur absolue	=350-200 = 150	=200-100 = 100
Oscillation	=150/200 = 75%	=100/100 = 100%
Poids, basé sur l'oscillation	= (75%/100%)*100 = 75	100
Poids normalisé ou tout simplement « poids de critère »	= 75/ (75+100) = 0,43	100/ (75+100) = 0,57

En pratique, lorsque le nombre de critères est supérieur à 2, la technique de groupe nominal peut être utilisée (voir Dodgson et. al, 2009) pour de plus amples explications.