



Développement d'un projet de ferme éolienne



Étude de faisabilité

Adrian Ilinca
Jean-Louis Chaumel
Hussein Ibrahim



ALEP, SYRIE, 22-25 Octobre 2007

Étude de faisabilité

Estimation plus précise du potentiel éolien du site

- La méthode M.C.P (Mesures, Corrélations, Prévisions)
 - Installation de mât de mesure avec anémomètre et vanne de direction (préférentiellement à deux hauteurs différentes où à la même hauteur que les éoliennes prévues à être installées)
 - Corrélation (linéaire) entre les vitesses sur le site et les données à long terme pour chacune des directions du vent
 - Durée minimale de 6 mois de mesure
- Inconvénients de la méthode M.C.P :
 - Les mâts de mesure installés à la hauteur de la nacelle sont suffisamment haut pour requérir des permis particuliers
 - Absence de stations météorologiques avec des données multi-annuelles dans un rayon acceptable de 50 – 100 km
 - L'analyse des données peut être très laborieuse si les données de la station de référence ne sont pas de bonne qualité
 - La méthode est basée sur l'hypothèse que les données précédentes fournissent une bonne indication du potentiel éolien futur

Étude de faisabilité

Estimation plus précise du potentiel éolien du site

- Simulation sur l'ordinateur :
 - Moindre coût
 - Utiles pour évaluer de grands territoires
 - Peu précis pour des sites particuliers
 - Non reconnus par le financier
- Autres méthodes et outils concernant le potentiel éolien sur le site :
 - Pour les petits projets, l'évaluation de la vitesse des vents devient un critère moins important à cause du coût de ces évaluations – Simplifications de la méthode MCP (diminution de la période d'analyse)
 - Plus le projet est coûteux plus le processus est exigeant
 - La méthode par tour de mesure et 12 mois de données est exigée par les financiers de grands projets mais pas strictement indispensable

Étude de faisabilité

Prévision de la vitesse du vent

- Prévisions météorologiques globales (de type Environnement Canada) suivi d'adaptations locales :
 - Techniques de corrélation
 - Simulation sur ordinateur à méso-échelle et à petite échelle
- Permet de prédire la production (moyenne) d'une ferme éolienne pour les 24 à 48 prochaines heures

Étude de faisabilité

Générateur numérique de vitesses de vent pour fin de simulation

▪ Objectifs d'un logiciel d'analyse et de génération de vitesse de vent :

- Déterminer le potentiel éolien d'un site et caractériser statistiquement le vent sur le site en question
- Développer un générateur de vitesses de vent afin de simuler sur ordinateur et en laboratoire (banc d'essai) le comportement d'une éolienne pour optimiser les stratégies de contrôle et régulation et améliorer la conception des composantes

▪ Méthodologie :

- Identification des paramètres statistiques qui caractérisent le vent sur un site donné
- Génération des vitesses (moyennes) au 10 minutes suivant une distribution inverse de Weibull
- Génération de la vitesse instantanée (à chaque seconde) en respectant le degré de turbulence sur le site

Étude de faisabilité

Micro-siting

▪ Utilisation des logiciels spécialisés :

- Wind Farmer (Garrad Hassan)
- Wind Farm
- WasP (Riso National Laboratory)
- ARIA (France)
- WEST (Environnement Canada – Groupe de Robert Benoit)
- Ms-Micro/3

Étude de faisabilité

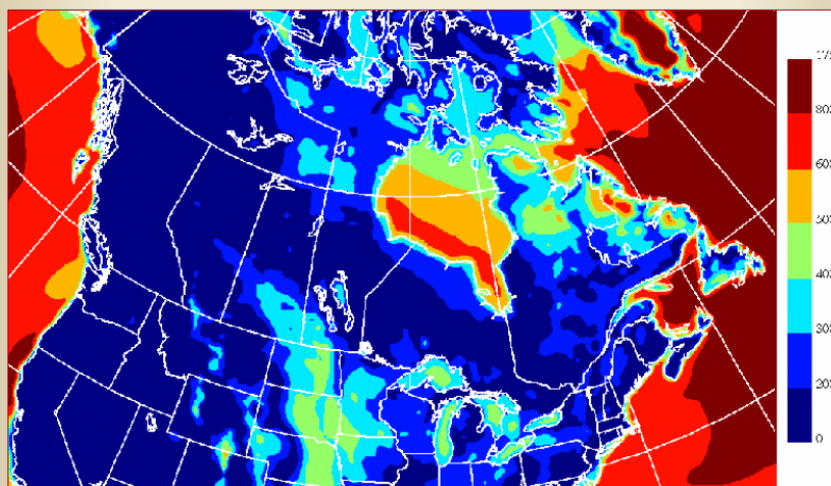
Concept de WEST

Mesoscale modelling of the WE climate on Canada -Modelling Tool and Atlas-



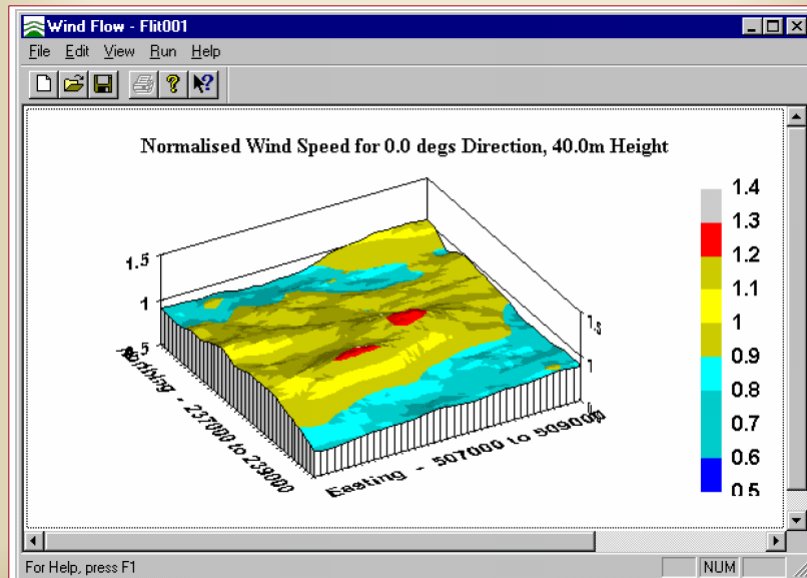
Étude de faisabilité

Atlas éolien du Canada – WEST



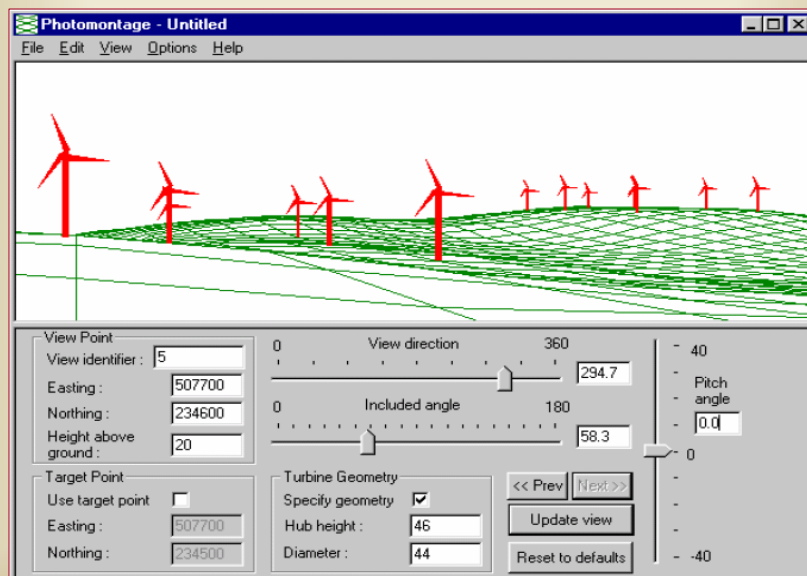
Étude de faisabilité

Comportement du flux éolien sur le site



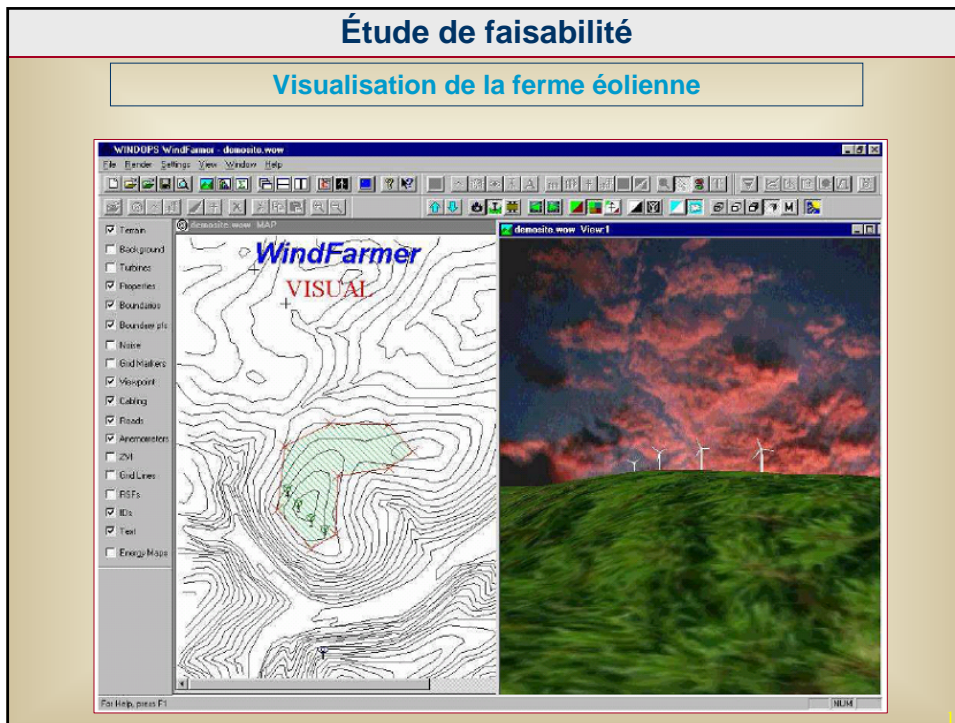
Étude de faisabilité

Visualisation de la ferme éolienne



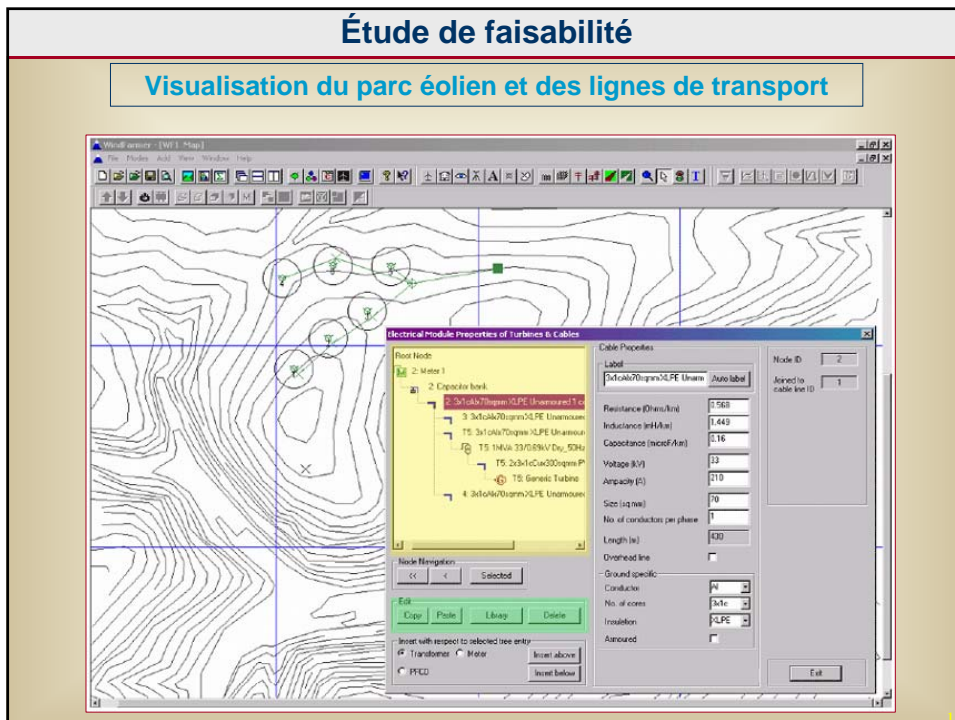
Étude de faisabilité

Visualisation de la ferme éolienne



Étude de faisabilité

Visualisation du parc éolien et des lignes de transport



Étude de faisabilité

Le modèle RETScreen® International pour projets de centrale éolienne

- Il permet d'évaluer pour des projets de centrale éolienne hors réseau ou raccordés à un réseau isolé ou à un réseau central d'électricité :
- la production d'énergie
- la viabilité financière
- les réductions d'émissions de gaz à effet de serre

Étude de faisabilité

Le modèle RETScreen® International pour projets de centrale éolienne

Caractéristiques du site		Données	Notes/Plage
Nom du projet			
		Scenario #1	
Lieu du projet		Calgary, AB	
Source des données de vent		Vitesse du vent	
Station météorologique la plus proche du projet		Calgary Int'l. A, AB	<small>voir la base de données météorologiques</small>
Vitesse moyenne annuelle du vent	m/s	4.4	
Hauteur de mesure du vent	m	10.0	3.0 à 100.0 m
Coefficient de cisaillement du vent	-	0.15	0.10 à 0.40
Vitesse du vent à 10 m	m/s	4.4	
Pression atmosphérique moyenne	kPa	88.9	60.0 à 103.0 kPa
Température moyenne annuelle	°C	4	-20 à 30 °C

Paramètres du système		Données	Notes/Plage
Type de mesure			
		Réseau central	
Puissance nominale par éolienne	kW	1 000	
Nombre d'éoliennes	-	20	<small>→ compléter la feuille Équipements</small>
Puissance éolienne installée	kW	20 000	
Hauteur du moyeu	m	45.0	6.0 à 100.0 m
Vitesse du vent à hauteur du moyeu	m/s	5.5	
Pertes par effet de sillage	%	3%	0% à 20%
Pertes par encastrement des pales et/ou verges	%	2%	1% à 10%
Autres pertes et causes d'arrêt	%	2%	2% à 7%
Pertes diverses	%	3%	2% à 6%

Production annuelle d'énergie		Données par éolienne	Données totales	Notes/Plage
Puissance éolienne installée	kW	1 000	20 000	
Production éolienne non corrigée	MWh	1 000	20 000	
Production éolienne corrigée	MWh	1 645	32 902	
Coefficient de correction barométrique	-	0.88	0.88	0.50 à 1.02
Coefficient de correction thermique	-	1.04	1.04	0.98 à 1.15
Production éolienne brute	MWh	1 414	28 282	
Coefficient de pertes	-	0.90	0.90	0.75 à 1.00
Rendement spécifique	kWh/m²	556	556	150 à 1 500 kWh/m²
Facteur d'utilisation de la centrale éolienne	%	15%	15%	20% à 40%
Énergie renouvelable fournie	MWh	1 278	25 556	
	GJ	4 400	82 003	<small>compléter la feuille Analyse des coûts</small>

Étude de faisabilité

Le modèle RETScreen® International pour projets de centrale éolienne

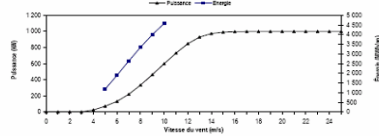
Caractéristiques des équipements RETScreen® - Projet de centrale éolienne

Caractéristiques des éoliennes		Données	Notes/Place
Puissance nominale par éolienne	kW	1 000	voir le base de données de produits
Hauteur du moyeu	m	45,0	6,0 à 100,0 m
Diamètre du rotor	m	54	7 à 80 m
Surface balayée	m²	2 300	35 à 5 027 m²
Manufacturier d'éoliennes		Sonac Energy	
Modèle d'éolienne		AH BORGUS 1 MW	
Source de la courbe d'énergie		Définie par l'utilisateur	spécifique au site

Données de la production de l'éolienne

Vitesse du vent (m/s)	Courbe de puissance (kW)	Courbe d'énergie (MWh/an)
0	0,0	-
1	0,0	-
2	0,0	-
3	0,0	-
4	24,1	-
5	86,3	1 183,0
6	130,0	1 869,0
7	216,1	2 832,0
8	333,5	3 361,0
9	483,1	4 004,0
10	598,1	4 575,0
11	750,0	-
12	845,5	-
13	929,5	-
14	972,5	-
15	990,5	-
16	997,2	-
17	999,2	-
18	999,5	-
19	999,5	-
20	1 000,0	-
21	1 000,0	-
22	1 000,0	-
23	1 000,0	-
24	1 000,0	-
25	1 000,0	-

Courbes de puissance et d'énergie



voir le base de données de produits

Étude de faisabilité

Le modèle RETScreen® International pour projets de centrale éolienne

Analyse des coûts RETScreen® - Projet de centrale éolienne

Type de projet: Énergie		Devis: €	Coût de référence: €/kW
Coûts d'équipement (montés)	Unité	Quantité	Coût unitaire
Inspection du site	rs	1,0	€ 4 800
Évaluation du potentiel éolien	rs	1,0	€ 120 000
Évaluation du développement	rs	1,0	€ 8 400
Concepteur préliminaire	rs	1,0	€ 14 400
Estimation détaillée des coûts	rs	1,0	€ 14 400
Étude de faisabilité de réf. et PE des O&M	projet	1,0	€ 4 800
Évaluation du risque	rs	1,0	€ 4 800
Genre de projet	rs	1,0	€ 4 800
Visibilité et hébergement	visite	1,0	€ 10 000
Sous-total			€ 198 000
Développement			€ 26 000
Acquisition du CAD	rs	200,0	€ 200 000
Coûts de permis	projet	1,0	€ 30 000
Énergie	rs	1,0	€ 30 000
Visibilité et hébergement pour les O&M	projet	1,0	€ 100 000
Préparation du projet	rs	1,0	€ 100 000
Services complémentaires et consultants	rs	1,0	€ 100 000
Opérer au projet	rs	1,0	€ 100 000
Visibilité et hébergement	visite	1,0	€ 54 000
Sous-total			€ 779 000
Ingénierie			€ 140 000
Liaison des éoliennes	rs	1,0	€ 140 000
Concepteur préliminaire	rs	1,0	€ 80 000
Concepteur définitif	rs	1,0	€ 100 000
Site et consultants et consultants	rs	1,0	€ 70 000
Opérer au projet	rs	1,0	€ 80 000
Sous-total des études			€ 110 000
Équipements énergétiques			€ 610 000
Batterie	rs	20 000	€ 200 000
Pierres de recharge	%	7,0%	€ 34 000,00
Visibilité	rs	20	€ 32 000
Sous-total			€ 249 000
Infrastructures externes			€ 249 000
Planification des études	rs	20	€ 70 000
Director des études	rs	20	€ 70 000
Chargé des études	rs	20	€ 70 000
Site et consultants	rs	20	€ 70 000
Planification des études	projet	1,0	€ 2 000 000
Batterie et consultants	rs	1,0	€ 100 000
Visibilité et hébergement	projet	1,0	€ 60 000
Sous-total			€ 668 000
Clèves			€ 30 000
Planification	rs	30,0	€ 300 000
Mise en œuvre	rs	30,0	€ 300 000
Opérer au projet	rs	1,0	€ 100 000
Sous-total des études			€ 700 000
Total des coûts d'investissement			€ 2 748 000
Coûts annuels (montés)	Unité	Quantité	Coût unitaire
Location du terrain	projet	1,0	€ 67 000
Travaux initiaux	projet	1,0	€ 23 000
Pierres d'entretien	projet	1,0	€ 48 000
Opérer au projet	rs	1,0	€ 78 000
Planification des études	projet	1,0	€ 204 410
Batterie et consultants	rs	1,0	€ 100 000
Visibilité et hébergement	visite	1,0	€ 38 000
Coûts annuels des études	rs	1,0	€ 27 410
Sous-total			€ 488 820
Total des coûts annuels			€ 817 820
Coûts d'investissement	Coût	Projet	Coût unitaire
Projet	€ 2 748 000	€ 2 748 000	€ 1 000 000
Projet	€ 700 000	€ 700 000	€ 1 000 000
Coût total du projet	Coût	€ 3 448 000	€ 3 448 000

Étude de faisabilité

Le modèle RETScreen® International pour projets de centrale éolienne

Analyse des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) RETScreen® - Projet de centrale éolienne

Utiliser la feuille d'analyse GES? Oui Non
 Type d'analyse Standard Non standard

Information générale

Information sur le projet
 Nom du projet: Solcano #1
 Lieu du projet: Calgary, AB
 Puissance installée: 30,00 MW
 Type de réseau: Réseau central
 Potentiel de réchauffement planétaire des GES (GEC: 1996): 21 tonnes CO₂ = 1 tonne CH₄
 (GEC: 1996): 310 tonnes CO₂ = 1 tonne N₂O

Niveaux électriques de référence (niveau de référence)

Mode de production	Proportion des modes (%)	Facteur d'émissions CO ₂ (kg/GJ)	Facteur d'émissions CH ₄ (kg/GJ)	Facteur d'émissions N ₂ O (kg/GJ)	Rendement de conversion (%)	Pertes de transport et de distribution (%)	Facteur d'émissions GES (tCO ₂ /MWh)
Charbon	100,0%	94,6	0,0220	0,0030	55,0%	8,0%	1,069
Mélange d'électrode	100%	293,6	0,0062	0,0093		8,0%	1,069

Changement de niveau de réf. durant le projet? Oui Non

Centrale électrique proposée (projet de centrale éolienne)

Mode de production	Proportion des modes (%)	Facteur d'émissions CO ₂ (kg/GJ)	Facteur d'émissions CH ₄ (kg/GJ)	Facteur d'émissions N ₂ O (kg/GJ)	Rendement de conversion (%)	Pertes de transport et de distribution (%)	Facteur d'émissions GES (tCO ₂ /MWh)
Centrale électrique	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	8,0%	0,000

Sommaire des réductions d'émissions de GES

	Facteur d'émissions de GES de référence (tCO ₂ /MWh)	Facteur d'émissions de GES du cas proposé (tCO ₂ /MWh)	Énergie annuelle utile fournie (MWh)	Réduction annuelle brute d'émissions de GES (tCO ₂)	Frais de transaction pour les crédits de GES (%)	Réduction annuelle nette d'émissions de GES (tCO ₂)
Centrale électrique	1,069	0,000	23 512	25 123	0,0%	25 123

[compléter la feuille Sommaire financier](#)

Étude de faisabilité

Le modèle RETScreen® International pour projets de centrale éolienne

Sommaire financier RETScreen® - Projet de centrale éolienne

Données énergétiques annuelles

Nom du projet: Solcano #1
 Lieu du projet: Calgary, AB
 Énergie renouvelable fournie: 25 123 MWh
 Excédent disponible en ER: 0 MWh
 Puissance requise en ER: 0 kW
 Type de réseau: Réseau central
 Réduction nette d'émissions de GES: 25 123 tCO₂ / an
 Coût: 628 007 \$

Paramètres financiers

Coût initial en énergie: \$/MWh 0,0185
 Coût pour CR: \$/MWh -
 Coût pour réduction d'émissions de GES: \$/tCO₂ -
 Taux d'intérêt: 7,00%
 Taux d'inflation: 2,50%
 Taux d'actualisation: 7,00%
 Durée de vie du projet: 25 ans

Coûts du projet et économies planifiées

Coût d'investissement	Blaise de facilités	Développement	Impôts	Équipements dépréciés	Infrastructures connexes	Opérations	Investissement total	Encouragements/subventions	Coût planifié (total)
0,6%	2,2%	1,8%	71,8%	16,7%	7,7%	100,0%	\$ 34 798 708	\$ -	\$ 34 798 708

Flux monétaires annuels

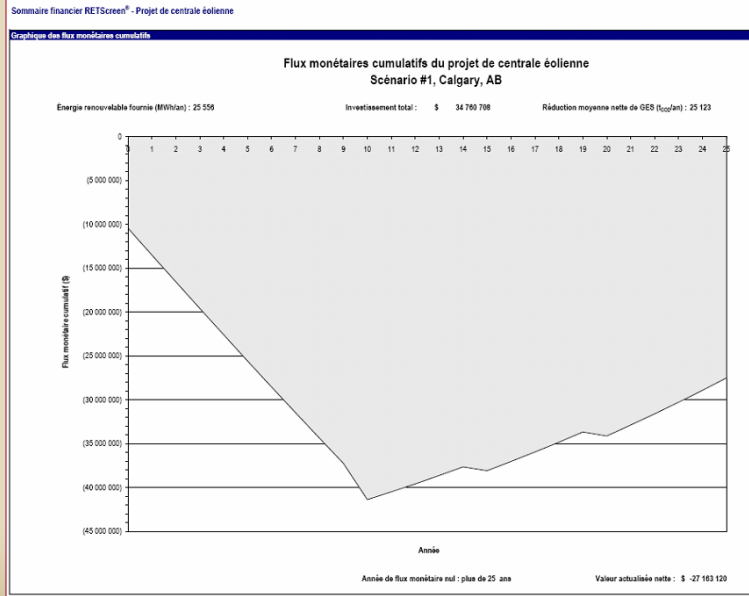
An	Av. impôts	Apr. impôts	Cumulatif
0	(10 428 212)	(10 428 212)	(10 428 212)
1	(3 014 024)	(3 014 024)	(13 500 037)
2	(3 030 375)	(3 030 375)	(16 566 680)
3	(3 030 375)	(3 030 375)	(19 596 672)
4	(3 030 375)	(3 030 375)	(22 594 017)
5	(2 988 345)	(2 988 345)	(25 577 962)
6	(2 988 345)	(2 988 345)	(28 535 913)
7	(2 932 937)	(2 932 937)	(31 468 850)
8	(2 908 477)	(2 908 477)	(34 378 326)
9	(2 879 142)	(2 879 142)	(37 254 411)
10	(4 130 952)	(4 130 952)	(41 385 363)
11	508 179	508 179	(40 877 184)
12	918 846	918 846	(39 958 338)
13	987 966	987 966	(38 970 372)
14	990 199	990 199	(37 980 173)
15	(434 888)	(434 888)	(38 088 812)
16	1 047 601	1 047 601	(37 041 211)
17	1 063 518	1 063 518	(35 977 693)
18	1 119 598	1 119 598	(34 858 094)
19	1 197 377	1 197 377	(33 660 717)
20	1 842 700	1 842 700	(31 818 017)
21	1 238 692	1 238 692	(30 579 325)
22	1 219 385	1 219 385	(29 359 940)
23	1 321 390	1 321 390	(28 038 550)
24	1 385 661	1 385 661	(26 652 889)
25	1 411 491	1 411 491	(25 241 398)

Analyse financière

TRI et RI avant impôt: -7,1%
 TRI et RI après impôt: 7,1%
 Retour simple: 98,7%
 Années de flux monétaire nul: plus de 25
 Valeur actualisée nette (VAN): \$ 24 332 486
 Coût incrémental sur la durée de vie: \$ (27 163 370)
 Ratio avantages-coûts: 1,89

Étude de faisabilité

Le modèle RETScreen® International pour projets de centrale éolienne



UQAR Université du Québec à Rimouski

Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne
LREE Wind Energy Research Laboratory

Questions ?

Merci pour votre attention

