



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE



DIRECTIVE ENVIRONNEMENTALE SECTORIELLE : ÉNERGIE À PETITE ÉCHELLE

APPUI DE L'USAID À LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT MONDIAL (GEMS)

2014

Ce document a été développé par The Cadmus Group, Inc. sous le contrat « Global Environmental Management Support » (numéro de contrat GS-10F-0105J) de l'USAID. Les contenus sont sous la seule responsabilité des auteurs et ne reflètent pas nécessairement la vision de l'USAID ou du gouvernement des Etats-Unis.

Photo de couverture: Une mère et ses enfants posant devant un foyer de cuisson à biomasse au Pérou.
Crédit photo: Winrock International

À PROPOS DE CE DOCUMENT ET DES DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES SECTORIELLES

L'expérience a montré que suivre les principes de conception durable et écologique respectueuse de l'environnement (Environmentally Sound Design and Management - ESDM) dans la planification et la réalisation de nouveaux projets et programmes à petite échelle aide les gens à éviter les erreurs potentiellement coûteuses et rend souvent les activités de développement plus viables à long terme.

Les Directives sectorielles ESD sont la principale source d'orientation environnementale sectorielle de l'USAID. Pour chaque secteur de développement concerné, les directives précisent les impacts négatifs potentiels et typiques des activités dans ce secteur ; fournissent des conseils sur les bonnes pratiques environnementales pour la conception de programmes sectoriels, l'atténuation environnementale et les directives de suivi ; et incluent une bibliographie annotée de ressources accessibles sur le Web.

La première édition des directives a été publiée en 1996. Pour la deuxième édition, les directives ont été entièrement mis à jour et élargis. La troisième édition actuelle a été éditée pour adopter une perspective globale et intégrer le contenu technique pertinent et les exemples sectoriels des versions Asie / Proche-Orient et Amérique latine et Caraïbes des directives de l'USAID, travail en cours. Les modules sont mis à jour et de nouveaux modules ajoutés sur une base continue.

Ces directives comprennent des bibliographies annotées des documents sources les plus utiles. Dans chaque cas, nous avons mis l'accent sur les documents disponibles via Internet. La version en ligne des Directives à www.usaidgems.org contient des liens HTML vers ces sources, tandis que la version sur CD-ROM du site Web contient à la fois les Directives et une grande partie de ce matériel source. Nous espérons donc que les praticiens du développement seront en mesure de trouver et de consulter rapidement des sources pratiques étendues sur des secteurs spécifiques.

Bien que l'ESD pour les activités à petite échelle nécessite que les personnes responsables comprennent les principes de l'ESD et les intègrent dans la conception et la mise en œuvre du projet, elles ne peuvent et ne doivent pas être la seule préoccupation des professionnels de l'environnement. Nous nous sommes donc efforcés de garder le langage des Principes directeurs aussi simple et sans jargon technique que possible.

L'élaboration des Directives a été financée par l'USAID pour répondre aux besoins de son personnel et de ses organisations partenaires. Cependant, elles sont largement applicables à d'autres donateurs, aux organisations communautaires et non gouvernementales, aux gouvernements locaux, et à d'autres engagés dans des activités à petite échelle.

REMARQUE : Ces directives sont uniquement consultatives. Ce ne sont pas des directives réglementaires officielles de l'USAID. Le respect des pratiques et des approches décrites dans les directives n'assure pas automatiquement la conformité avec les procédures environnementales de l'USAID ou les exigences environnementales du pays hôte.

CONTENUS

À PROPOS DE CE DOCUMENT ET DES DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES SECTORIELLES	III
LISTE DES ACRONYMES	IV
ÉNERGIE À PETITE ÉCHELLE.....	I
INTRODUCTION.....	I
ÉNERGIE SOLAIRE	5
APERÇU.....	5
TENDANCES ET ÉCONOMIE.....	5
PHOTOVOLTAÏQUES.....	7
ÉNERGIE THERMIQUE SOLAIRE.....	11
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET MESURES D'ATTÉNUATION.....	13
ÉNERGIE ÉOLIENNE	18
APERÇU.....	18
TENDANCES, ÉCONOMIE ET DÉFIS	18
APPLICATIONS DES TECHNOLOGIES DE PETITES ÉOLIENNES.....	20
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ÉOLIENNE À PETITE ÉCHELLE	21
PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE.....	26
APERÇU.....	26
TENDANCES ET ÉCONOMIE.....	27
APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES	28
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET MESURES D'ATTÉNUATION.....	31
RELATIONS TRANSFRONTALIÈRES DE L'EAU	37
GÉOTHERMIE.....	38
APERÇU.....	38
TENDANCES.....	39
APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES	41
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	42
BIOÉNERGIE	47
A PERÇU	47
LES TENDANCES	48
SOURCES ET UTILISATIONS DE BIOMASSE	50
PROCESSUS DE PRODUCTION ET TECHNOLOGIES.....	53
QUESTIONS ENVIRONNEMENTALES ET MESURES D'ATTÉNUATION	58
COMBUSTIBLES FOSSILES.....	67
APERÇU.....	67
TENDANCES ET ÉCONOMIE.....	68
QUESTIONS ENVIRONNEMENTALES ET MESURES D'ATTÉNUATION	69
SYSTÈMES DE RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES DISTRIBUÉS.....	75
APERÇU.....	75
TECHNOLOGIES DER.....	76
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES TECHNOLOGIES DES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES DISTRIBUÉES (DER).....	79
LE CONCEPT D'EFFET ENVIRONNEMENTAL CUMULATIF.....	82
APERÇU.....	82

IMPLICATIONS GLOBALES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	83
PLANIFIER POUR UN CHANGEMENT CLIMATIQUE	83
S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MINIMISANT LA VULNÉRABILITÉ GRÂCE À LA CONCEPTION DU PROJET	83
MINIMISER LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GHG)	84
CONSIDÉRATIONS DE COÛT POUR LA DURABILITÉ DU PROJET	86
APERÇU.....	86
LE COÛT DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE.....	86
COUT ACTUALISE DE L'ÉNERGIE (LCOE) DE CERTAINES OPTIONS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE	88
ANNEXE I MODÈLES DE MESURES D'ATTÉNUATION ET DE SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT (EMMP).....	90
ATTÉNUATION (TABLES DISTINCTES POUR LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION, L'EXPLOITATION ET LA FERMETURE)	90
SUIVI	91
ANNEXE II RÉFÉRENCES.....	92
ÉNERGIE SOLAIRE	92
ÉNERGIE EOLIENNE	93
PETITE CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE	93
ÉNERGIE GEOTHERMIQUE.....	94
BIOÉNERGIE: BIOGAZ	95
BIOÉNERGIE: BIOMASSE SOLIDE.....	95
BIOÉNERGIE : BIO CARBURANTS.....	96
CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ETUDE D'IMPACT	97
LE CONCEPT DES EFFETS CUMULATIFS ENVIRONNEMENTAUX	97

LISTE DES ACRONYMES

TRADUCTION EN FRANÇAIS

ABPP	Africa Biogas Partnership Programme	Programme de partenariat Africa Biogas
AC	Alternating Current	Courant alternatif
AC	Air Conditioning	Climatisation
APU	Auxiliary Power Unit	Groupe électrogène auxiliaire
BMZ	German Ministry for Economic Cooperation and Development	Ministère allemand de la coopération économique et du développement
BOS	Balance-of-system	Balance-de-système
C	Construction	Construction
CCS	Carbon Capture and Storage	Capture et stockage de carbone
CHP	Combined Heat and Power	Production combinée de chaleur et d'électricité
CO2	Carbon Dioxide	Dioxyde de Carbone
CT	Combustion Turbine	Turbine de Combustion
DC	Direct Current	Courant continu
DCM	Decommissioning	Déclassement
DER	Distributed Energy Resources	Ressources énergétiques distribuées
DOE	Department of Energy	Département de l'Énergie
EA	Environmental Assessment	Évaluation environnementale
EIA	Environmental Impact Assessment	Évaluation d'Impact Environnemental
EMMP	Environmental Mitigation and Monitoring Plan	Plan d'atténuation et de suivi environnemental
ESD	Environmentally Sound Design	Conception durable et écologique
ESDM	Environmentally Sound Design and Management	Conception et gestion durable et écologique

EU	European Union	Union Européenne
GACC	Global Alliance for Clean Cookstoves	Alliance Globale pour les foyers améliorés
GHG	Greenhouse Gas	Gaz à effet de serre
GWth	Gigawatts Thermal	Gigawatts thermiques
IC	Internal Combustion	Combustion Interne
IEA	International Energy Agency	Agence internationale de l'énergie
IP	Implementing Partner	Partenaire de mise en œuvre
Kw	Kilowatt	Kilowatt
kWh	Kilowatt Hour	Kilowatt Heure
LCOE	Levelized Cost of Electricity	Coût unitaire moyen de l'électricité
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Gaz de pétrole liquéfié
MSW	Municipal Solid Waste	Déchets solides municipaux
MW	Megawatt	Mégawatt
NGO	Non-governmental Organization	Organisation non gouvernementale
NO _x	Nitrogen Oxides	Oxydes d'azote
NREL	National Renewable Energy Laboratory	Laboratoire National des Energies Renouvelables
ODC	Oserian Development Co. Ltd.	Oserian Development Co. Ltd.
OCDE	Organisation for Economic Cooperation and Development	Organisation de coopération et de développement économiques
O&M	Operation and Maintenance	Opération et maintenance
PM	Particulate Matter	Matière de particules
POME	Palm Oil Mill Effluent	Effluent d'usine d'huile de palme
PPE	Personal Protective Equipment	Équipement de protection individuelle
P&D	Planning and Designing	Planification et conception

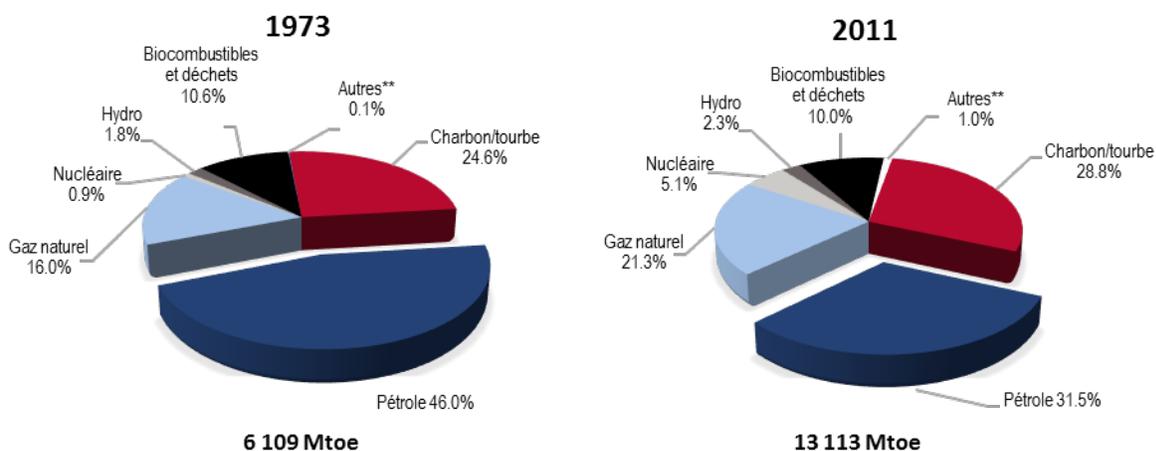
PV	Photovoltaic	Photovoltaïque
RoR	Run-of-the-River	Cours de la rivière
SO ₂	Sulfur Dioxide	Dioxyde de soufre
UPS	Uninterrupted Power Supplies	Unités d'alimentation permanente
USAID	United States Agency for International Development	Agence des États-Unis pour le développement international
VOCs	Volatile Organic Compounds	Composés organiques volatils
W	Watt	Watt
WEO	World Energy Outlook	Perspectives énergétiques mondiales

ÉNERGIE À PETITE ÉCHELLE

L'énergie est au cœur de la croissance économique à la fois dans les économies industrialisées et dans les pays en développement, mais la poursuite des tendances actuelles en matière de consommation d'énergie n'est pas durable.

INTRODUCTION

L'épuisement des ressources non renouvelables (énergies fossiles), les impacts globaux de la production d'énergie sur les systèmes naturels, les changements climatiques, la hausse des coûts de l'énergie conventionnelle (notamment pétrolière) et les exigences de sécurité énergétique entraînent des investissements dans l'efficacité énergétique. La façon dont nous fournissons et utilisons l'énergie n'affecte pas seulement l'environnement biophysique, mais aussi la santé humaine et le bien-être économique. Selon le *scenarion de nouvelles politiques* du World Energy Outlook 2012, la demande énergétique mondiale devrait augmenter de plus d'un tiers jusqu'en 2035 et aura doublé dans environ 40 ans (voir les graphiques ci-dessous).



L'énergie renouvelable peut avoir de nombreux avantages, tels qu'un meilleur accès à l'énergie dans les pays en développement, des améliorations en santé publique, l'atténuation du changement climatique, etc. Cependant, pour que ces avantages soient réalisés, plusieurs considérations de durabilité doivent être prises en compte. **Les obstacles au projet**, tels que les coûts, la réglementation du pays d'accueil, la gouvernance éthique et efficace, et les défis qui surviennent durant le fonctionnement du projet doivent être réconciliés. Les gestionnaires de projet doivent avoir une connaissance précise des alternatives énergétiques et de **leurs coûts et avantages relatifs** d'un point de vue économique, social et environnemental. Des incitations telles que les subventions et les tarifs peuvent déplacer l'offre et la demande vers des pratiques énergétiques et économiques plus durables. Le financement gouvernemental, privé ou des ONG peut également stimuler le développement des énergies renouvelables. **Des engagements à long terme en matière d'entretien et de surveillance réguliers** doivent être établis pendant la conception du projet pour en assurer l'efficacité. **Les coûts récurrents associés à long terme** doivent également être déterminés et budgétisés avant le lancement du projet, y compris la viabilité d'un projet après la fin des appuis des ONG, des donateurs ou du gouvernement.



Un micro-barrage électrique situé à Chitral au nord du Pakistan. Crédit Photo : Winrock International.

Cette directive a pour but final d'informer les développeurs et les exécutants de projets énergétiques à petite échelle sur la conception durable et écologique (ESD). Distinguer les "activités à petite échelle" de celles qui ne le sont pas est subjectif. Dans ce document, la définition sera considérée comme incluant, sans s'y limiter, les ménages ou les fermes individuelles ou coopératives ; projets communautaires ; micro et petites entreprises ; et des projets institutionnels tels que les écoles, les cliniques de santé et les hôpitaux.

En revanche, les grandes centrales commerciales (c.-à-d. Celles de plus de

10 mégawatts [MW]) ne sont pas couvertes par le présent directive, ni les grandes centrales hydroélectriques (> 10 MW), éoliennes (> 1 MW), solaires (>de 20 kilowatts [kW]), géothermiques ou bioénergétiques (> 10 MW). Les autres systèmes énergétiques non couverts par cette directive comprennent la production de gaz naturel à partir de la fracturation hydraulique et les systèmes hybrides diesel / renouvelables. Les impacts des lignes de transmission sur les paysages (l'environnement naturel visible à partir d'un certain point de vue), la faune ou la végétation ne sont pas inclus dans cette directive.

Cette directive se concentre sur diverses ressources et systèmes d'énergie renouvelable, mais décrit également les combustibles fossiles et les systèmes qui soutiennent les activités à petite échelle. L'énergie solaire, la petite hydroélectricité, l'énergie éolienne, l'énergie géothermique et la bioénergie sont discutées avec un aperçu des tendances et des applications technologiques récentes, en mettant l'accent sur leurs impacts environnementaux potentiels et leurs techniques de conception et gestion respectueuses de l'environnement (ESDM) y compris les mesures effectives d'atténuation et de surveillance à utiliser tout au long de la mise en œuvre du projet.

Il est particulièrement important que le processus d'évaluation des impacts potentiels intervienne le plus tôt possible au stade de la conception. Cela inclut de bien prendre en compte les alternatives de projet réalisable et d'examiner la meilleure façon d'éviter ou de minimiser les impacts négatifs potentiels sur l'énergie et l'environnement. La directive souligne également la possibilité d'effets environnementaux *cumulatifs* de multiples activités énergétiques à petite échelle, discute des risques auxquels sont confrontés les projets énergétiques à petite échelle du fait du changement climatique mondial et fournit des informations générales sur les impacts des projets d'énergie à petite échelle au plan économique et sur le genre.

Les impacts environnementaux abordés dans cette directive s'appliquent **au cycle de vie global de l'activité** « du **berceau à la tombe** »¹ et comprennent **les effets indirects** (par exemple les sources d'énergie et de matériaux pour la fabrication des systèmes éoliens et solaires ou les impacts de la construction des routes pour desservir les petites installations hydroélectriques). Les impacts globaux de chaque phase d'une activité doivent être pris en compte : l'extraction minière et l'extraction de matériaux ; traitement et fabrication ; construction, exploitation et maintenance ; et enfin, démantèlement (par exemple élimination à la fin du projet). **Même les projets à petite échelle peuvent nécessiter des évaluations environnementales (EA)** lorsqu'ils ont des impacts potentiellement importants sur des ressources écologiques, culturelles ou archéologiques sensibles, ou qu'ils pourraient potentiellement dégrader la biodiversité, les forêts naturelles ou les aires protégées.

Si des impacts significatifs sont attendus, le processus de planification et de conception pourrait inclure une évaluation des services écosystémiques (ESV) dans le cadre de l'évaluation avant le développement. Un ESV aidera les décideurs à comprendre comment les projets dépendent des services écosystémiques, même que l'impact des projets sur les services écosystémiques. Cette compréhension peut aider les communautés à réaliser les compromis associés au développement et à la gestion de différents types de projets énergétiques. Un ESV informe les décisions qui peuvent minimiser et atténuer les effets les plus nocifs d'un projet. Pour plus d'informations sur l'application d'un cadre de services écosystémiques au processus d'évaluation de l'impact environnemental, voir la fiche de conformité environnementale de l'USAID: « Services écosystémiques dans le Processus d'impact environnemental. »

Les impacts environnementaux pour chaque source d'énergie dans cette directive sont présentés dans un tableau à la fin de la section, qui comprend également des mesures d'atténuation et de suivi associées pour chaque impact identifié. Ces mesures d'atténuation et de suivi sont désignées en fonction de la ou des phases du projet où elles s'appliquent le mieux : planification et conception (P & D), construction (C), exploitation et entretien (O & M) et démantèlement (DCM). **Les tableaux d'impact environnemental ont pour but de guider l'élaboration de plans d'atténuation et de surveillance spécifiques au projet avant la mise en œuvre du projet.** Des modèles de plans d'atténuation et de surveillance spécifiques au projet sont inclus en annexe à la présente directive. Ces plans ajoutent des éléments essentiels au-delà des mesures d'atténuation et de surveillance, tels que l'identification des parties responsables pour chaque action, la désignation du calendrier de ces actions et l'allocation des budgets pour les mesures d'atténuation et de suivi requises.

Les outils et les technologies disponibles pour optimiser la gestion des ressources énergétiques, optimiser l'efficacité énergétique et minimiser les impacts environnementaux potentiels dans les pays en développement sont importants. De l'éclairage de nuit avec la technologie photovoltaïque à l'électrification communautaire avec l'énergie éolienne, les technologies d'énergie renouvelable ont le potentiel d'améliorer le niveau de vie des communautés les plus rurales et éloignées. Bien que les activités liées aux énergies renouvelables aient souvent moins d'incidences sur l'environnement que les combustibles fossiles ou l'énergie nucléaire, elles ont néanmoins le potentiel d'effets environnementaux négatifs qui devraient être atténués et surveillés. Alors que les projets d'énergie renouvelable deviennent de plus en plus courants, de nombreuses activités de développement à petite échelle restent tributaires

¹ Par exemple, les impacts comprennent la disposition finale des batteries provenant des systèmes éoliens et solaires, ou le démantèlement des systèmes de biogaz ou des tours éoliennes à la fin de leur vie de conception.

des combustibles fossiles, ce qui nécessite de réduire au minimum ou d'éliminer leurs impacts négatifs potentiels. Grâce à l'utilisation des techniques ESDM, les projets énergétiques à petite échelle ont le plus de chance d'avoir un impact environnemental positif et durable.

ÉNERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire est en train de devenir progressivement une option de plus en plus populaire dans les pays en développement. La production d'énergie photovoltaïque (PV) représente l'une des nombreuses illustrations de la façon dont l'énergie solaire est utilisée dans les applications à petite échelle.

APERÇU

Cette directive porte sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage, l'eau chaude, l'éclairage, la cuisson, la purification de l'eau et l'électricité. Les technologies solaires comprennent une variété de technologies spécifiques, y compris le photovoltaïque (PV) et plusieurs types de systèmes solaires thermiques, décrits dans cette directive. Ces technologies sont particulièrement utiles dans les pays en développement car de nombreux sites de ce type dépendent des sources de combustibles coûteuses, peu fiables et/ou nocives pour l'environnement, telles que la biomasse solide et le pétrole. L'énergie solaire offre une solution à faible coût d'entretien et constitue une option réaliste dans les pays en développement car beaucoup d'entre eux se trouvent dans des zones où les moyennes de rayonnement solaire sont élevées. Certaines technologies solaires, telles que les cuisinières solaires, peuvent également être construites et entretenues localement, permettant ainsi un flux de revenus. Aux fins de cette directive, les projets solaires à petite échelle sont ceux qui ont une puissance nominale maximale de 20 kW, bien que les systèmes solaires à petite échelle soient généralement beaucoup plus réduits.



Crédit photo: Scott Gruber, USAID

TENDANCES ET ÉCONOMIE

PHOTOVOLTAÏQUES

Bien qu'il existe un grand potentiel pour la technologie de l'énergie PV, les réseaux solaires conventionnels et même les micro-réseaux ont été jugés irréalistes pour les ménages ruraux en raison de leur coût élevé et de la difficulté d'accès aux matériaux. Cependant, l'énergie solaire photovoltaïque est actuellement la source d'énergie renouvelable qui connaît la croissance la plus rapide dans le monde, quoique à partir d'une petite base (voir *REN 21: Renewables 2013 Global Status Report*).

Dans les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), le marché est dominé par de grandes fermes solaires et des projets sur les toits soutenus par des programmes tarifaires et gouvernementaux attractifs. À l'échelle mondiale, les prix de l'énergie solaire photovoltaïque sont en baisse, ce qui fait de l'énergie solaire photovoltaïque l'option la moins coûteuse pour les systèmes résidentiels individuels dans de nombreux endroits éloignés. Avec des réductions de coûts spectaculaires pour les panneaux solaires et des systèmes hybrides plus importants pour les communautés éloignées, des options connectées au réseau sont envisagées par un certain nombre de pays en développement.

SAVIEZ-VOUS...

Toute l'énergie de la Terre stockée dans les réserves de charbon, de pétrole et de gaz naturel équivaut à l'énergie provenant de seulement 20 jours de soleil.

Les systèmes d'énergie solaire sont particulièrement favorisés en tant que source d'électricité indépendante, accessible et abordable dans les zones rurales et dans des environnements où la production et la distribution d'électricité centrales sont considérées comme non fiables, par exemple lorsque les conditions sont économiquement ou politiquement instables. L'Agence internationale de l'énergie prévoit que d'ici 2050, le PV fournira 11% de la production mondiale d'électricité, réduisant considérablement les émissions de gaz à effet de serre (GHG) et améliorant la sécurité énergétique et le développement économique.

La Chine et l'Inde ont les industries PV les plus développées parmi les pays émergents. L'Inde compte dix entreprises fabriquant des composants PV pour les secteurs ruraux, éloignés et industriels ; Cependant, la technologie ne représente encore qu'une petite partie de la capacité de production d'électricité installée en Inde. Au Brésil, la technologie PV est également de plus en plus répandue, où elle est principalement utilisée pour les télécommunications, l'électrification rurale, le pompage de l'eau et l'éclairage public dans les communautés à faible revenu.

SOLAIRE THERMIQUE

La capacité mondiale d'énergie solaire thermique a également augmenté en 2012 pour atteindre 282 gigawatts thermiques [GWth]. La Chine et l'Europe sont responsables de la majorité de cette capacité et représentent 90% du marché mondial. Outre la Chine, le Japon et l'Inde ont les plus grands marchés solaires thermiques en Asie ; La Thaïlande suit de près avec les nouvelles incitations du système hybride de chaleur résiduelle solaire. En Amérique du Sud, le marché brésilien s'est considérablement développé, en partie à cause d'un programme qui nécessite de l'énergie solaire thermique dans les logements sociaux. En Afrique, l'Égypte, le Mozambique, la Tunisie, le Zimbabwe et l'Afrique du Sud sont les utilisateurs prédominants de l'énergie solaire thermique.

L'Agence internationale de l'énergie estime que les pays en développement doivent doubler leur capacité énergétique d'ici 2020 pour répondre aux besoins énergétiques. Ainsi, des projets à petite échelle visant à améliorer l'accès à l'énergie solaire revêtent une importance considérable.

PHOTOVOLTAÏQUES

L'accès inadéquat à l'électricité continue d'être un facteur majeur de pauvreté chez les communautés vivant dans des zones non électrifiées.

L'énergie photovoltaïque est la production directe d'électricité résultant de la lumière frappant une cellule solaire et des électrons énergisants. Une fois que les électrons atteignent un certain niveau d'énergie, ils peuvent diriger le courant vers les dispositifs d'alimentation, y compris les ampoules, les batteries, les systèmes de communication, les systèmes de signalisation, la réfrigération à distance et les pompes. **Le silicium** est le principal matériau utilisé dans la production de cellules solaires en raison de son rendement élevé. Cependant, ses coûts élevés et son offre limitée pour soutenir la croissance à long

Reconnaissance du côté "sombre" du solaire photovoltaïque

La poursuite de la croissance du déploiement des cellules photovoltaïques au cours des deux prochaines décennies pourrait entraîner la consommation d'une part importante de l'offre mondiale actuelle de gallium, d'indium, de sélénium et de tellure.

De plus, l'extraction de ces métaux pour la production de cellules PV a des impacts environnementaux indirects qui devraient être pris en compte lors de la sélection des technologies du projet.

Du point de vue des émissions de gaz à effet de serre, même les procédés de production de PV solaire émettent les émissions de GHG les plus faibles par kWh d'électricité que les combustibles fossiles traditionnels tels que les centrales au charbon.

terme de l'industrie PV ont conduit les chercheurs à explorer d'autres options, principalement **les films minces**. Le film mince a un rendement inférieur à celui du silicium, mais utilise moins de matériau, ce qui réduit les coûts de fabrication.

Lorsque plusieurs cellules solaires sont intégrées, elles constituent un "panneau" PV ou un "module", et lorsqu'un groupe de modules est connecté, le système est appelé "réseau PV". (Voir la fiche Practical Action Factsheet sur l'énergie solaire photovoltaïque pour des descriptions de types de modules et de réseaux spécifiques.)

Les modules PV pour les applications hors réseau nécessitent généralement des composants supplémentaires, appelés composants du système (BOS), qui incluent un contrôleur de charge, une batterie et éventuellement un onduleur pour convertir le courant continu en courant alternatif (AC). Aucun combustible fossile n'est nécessaire, et les systèmes PV sont généralement considérés comme respectueux de l'environnement et faciles à entretenir. Les systèmes PVs dans les applications connectées au réseau sont très répandus dans les pays développés et ne nécessitent pas de batteries ou de contrôleurs de charge pour fonctionner.

Étude de cas: Ujala "Programme for Light", Pakistan

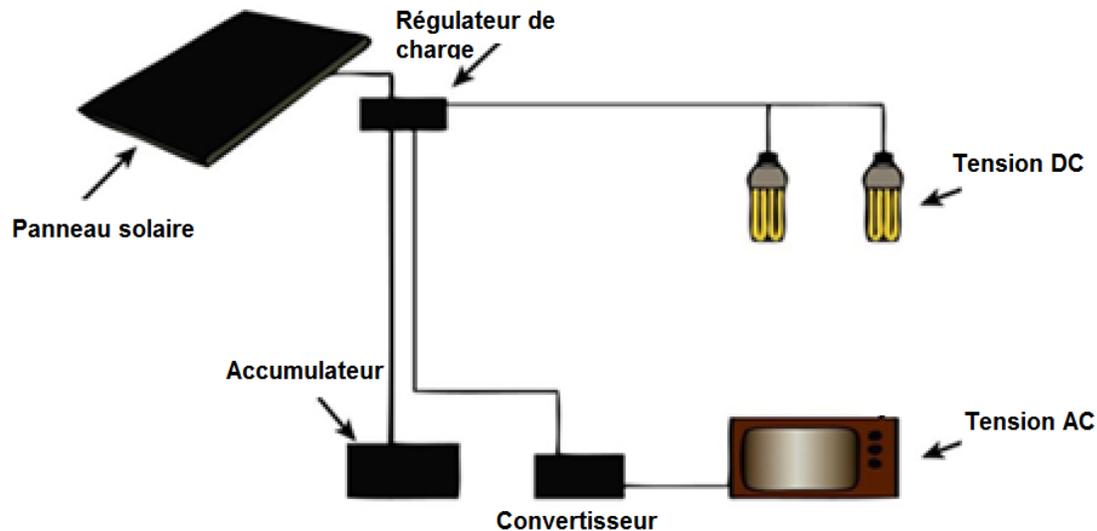
Le gouvernement provincial du Pendjab s'attaque à la question des coupures de courant croissantes en fournissant aux élèves des écoles publiques de trois districts des kits solaires composés d'une cellule solaire photovoltaïque de 30 watts, d'une batterie et d'un chargeur de téléphone portable. Avec 10 heures de chargement à la lumière du soleil, le système peut allumer une ampoule de 40 watts pendant 18 heures.

En janvier 2013, 15 000 lampes solaires ont été distribuées aux étudiants, dont beaucoup ne sont pas connectés au réseau national et ont besoin d'éclairage la nuit pour terminer leurs devoirs.

Voir <http://www.trust.org/item/?map=solar-lamps-light-up-education-in-power-short-pakistan> pour plus d'informations.

Sécuriser votre énergie solaire

Les systèmes solaires et les batteries peuvent être une cible pour le vol dans les pays en développement en raison de la valeur élevée de la technologie. Une installation correcte avec du matériel antivol, ainsi que des contrôles fréquents de surveillance et de maintenance, sont les clés pour sécuriser votre énergie solaire.



Composants BOS d'un système PV hors-réseau type

Source: Practical Action. <http://practicalaction.org/solar-photovoltaic-e>

Les **systèmes PV Pico**. Les systèmes PV Pico combinent des lampes (principalement à LED) avec des contrôleurs de charge et des batteries efficaces alimentées par un petit panneau PV (généralement une puissance nominale inférieure à 10 watts (W)). De petits besoins essentiels peuvent être satisfaits avec ce type de système, tel que l'éclairage, la recharge du téléphone et l'utilisation de la radio. Le plus petit de ces systèmes coûte entre 10 et 50 USD et peut être étendu avec des kits supplémentaires et adapté à une utilisation avec des appareils plus énergivores, tels que les petits téléviseurs.

Les PV pour les ménages. Depuis que de nombreux pays en développement (en particulier dans les pays tropicaux) peuvent exploiter l'énergie solaire toute l'année, la technologie PV au niveau des ménages est de plus en plus appliquée dans les zones rurales, où les réseaux ne sont pas réalistes. Comme les systèmes photovoltaïques pico, ces systèmes comprennent généralement des modules PV, un contrôleur de charge, et au moins une batterie pour stocker l'énergie pour une utilisation pendant les périodes non ensoleillées. Ces systèmes varient de 10 à 200 W, ce qui est suffisant pour alimenter les charges domestiques telles que les ampoules, la radio, les téléphones mobiles, et éventuellement une réfrigération modeste (par exemple pour les vaccins). Un obstacle majeur à l'adoption de la technologie PV est le prix élevé de l'investissement, mais les prix des panneaux solaires ont baissé à environ 1\$/W sur un coût total moyen du système de 4 à 5\$/W.

À l'instar des systèmes domestiques, les **systèmes solaires institutionnels** alimentent des charges similaires dans les centres communautaires ou les groupes de ménages, où l'électricité est accessible à toute la communauté. Ces systèmes sont souvent appropriés dans les zones rurales où la connexion à un réseau standard n'est pas une option. Les systèmes photovoltaïques situés au centre peuvent également être utilisés pour charger des batteries portables, qui à leur tour peuvent être utilisées pour l'électricité dans les ménages ruraux.

Les systèmes micro-réseaux (micro-réseaux) fournissent une source d'énergie centralisée pour l'éclairage rural à énergie limitée, le pompage / traitement de l'eau et les cliniques de soins de santé. Ces systèmes sont couramment utilisés pour l'électrification de groupes de ménages et / ou d'institutions hors-réseau. Par exemple, plus de 2,1 millions de ces systèmes ont été déployés au Bangladesh, aidant les villages ruraux à devenir des centres de commerce.

Alors que de tels systèmes peuvent souvent réduire les coûts PV grâce aux économies d'échelle, l'économie et la faisabilité des systèmes centralisés dépendent en fin de compte de la fiabilité du réseau, des mécanismes de régulation et de la disponibilité des batteries de stockage (bien qu'une combinaison hybride solaire-diesel puisse être utilisée sans stockage de batterie sur site).

L'éclairage rural des ménages et des écoles apporte d'importants avantages sociaux et économiques dans les régions en développement. Comme les enfants aident habituellement aux tâches ménagères ou vont à l'école pendant la journée, l'accès à la lumière la nuit leur permet de faire leurs devoirs. Il permet également aux adultes de travailler plus longtemps, à la fois sur les activités génératrices de revenus et éducatives. En plus du potentiel économique de l'éclairage de nuit, il améliore également les perspectives sanitaires et environnementales en atténuant la pollution générée par les foyers de cuisson ; lampes à huile et à pétrole ; et des bougies.²

Le pompage PV de l'eau des puits peut être utilisé pour l'approvisionnement en eau du village et pour fournir de l'eau au bétail. Les pompes solaires doivent inclure un générateur photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité DC, qui à son tour alimente un moteur électrique pour entraîner

The Times of India: Panasonic India lance le projet d'ampoules solaires

CHENNAI: Panasonic India a lancé son projet de 100 000 ampoules solaires, un projet visant à fournir 100 000 ampoules solaires LED aux personnes sans électricité d'ici 2018, année qui marquera le 100e anniversaire de la société.

Panasonic vise à fournir 10 000 unités d'ampoules solaires dans trois régions d'Asie et d'Afrique. Comme première étape, 3000 ampoules solaires ont été distribuées en février 2013 au Myanmar. Environ 5 000 ampoules solaires compactes ont été attribuées à des zones hors réseau en Inde et 2 000 autres seront fournies à un camp de réfugiés en Afrique, selon un communiqué de la société.

Source: Sushma, TNN.

http://articles.timesofindia.indiatimes.com/2013-03-08/chennai/37560642_1_solar-lights-panasonic-india-renewable-energy



*Un séchoir solaire indirect pour les aliments en Afghanistan
Crédit photo: Robert Foster, Winrock International.*

² Voir <http://www.adb.org/news/videos/solar-lanterns-light-villages-india> et <http://live.wsj.com/video/solar-lanterns-bring-light-to-rural-india/DF984955-AFBI-4C0E-9C0C-02AA32A3A247.html#!DF984955-AFBI-4C0E-9C0C-02AA32A3A247>

la pompe. Les types de pompes solaires comprennent les submersibles, les ensembles de pompes à moteur flottants et les ensembles de pompes d'aspiration de surface. Des descriptions peuvent être trouvées dans la fiche [Practical Action Factsheet](#) pour le pompage d'eau solaire (PV). Cette directive ne couvre pas l'utilisation de pompes solaires pour l'irrigation à grande échelle.

Avant de mettre en œuvre un projet impliquant le pompage PV, il faut veiller à assurer la faisabilité technique et la solidité environnementale. Une attention particulière doit être accordée à la qualité et à la quantité de l'eau telles que décrites dans les Directives Environnementales Sectorielles sur l'Eau et l'Assainissement de l'USAID ([USAID Sector Environmental Guideline on Water and Sanitation](#)), qui couvrent les questions d'implantation, les tests d'eau, les évaluations des nappes phréatiques et la durabilité des conditions hydrologiques. Là où de nouveaux puits doivent être forés, les impacts environnementaux peuvent être importants (se référer au tableau d'atténuation ci-dessous, spécifiquement pour l'utilisation des terres et de l'eau). En examinant le rapport coût-efficacité de la pompe solaire, deux facteurs importants à prendre en considération sont la quantité d'eau nécessaire par jour et la portance³ requise.

Soins de santé. La technologie PV peut éclairer les cliniques rurales et renforcer l'utilisation des installations médicales, y compris les salles d'opération en cas d'urgence, ainsi que l'alimentation des outils de diagnostic. De plus, l'électricité photovoltaïque peut alimenter les systèmes de communication et les systèmes informatiques dans des endroits éloignés. Il peut également alimenter la réfrigération pour le stockage de vaccins et de sang, les sonogrammes, les ventilateurs et les microscopes.

ÉNERGIE THERMIQUE SOLAIRE

L'énergie solaire thermique utilise différents types de capteurs pour transformer la lumière du soleil en chaleur pour une variété d'applications, de l'eau de chauffage aux plats de cuisson. Un avantage de l'énergie solaire thermique est qu'elle peut être fabriquée avec un équipement simple et à une échelle encore plus petite que la technologie PV, apportant un avantage économique local lorsque les membres de la communauté sont formés à la construction et à l'entretien de ces systèmes.

Une application courante de la technologie solaire thermique est **le chauffage solaire de l'eau**, bien que les systèmes domestiques ne se trouvent principalement que dans les zones les plus riches du monde en développement. Ils peuvent être incorporés largement dans les zones urbaines grâce à des programmes d'incitation gouvernementaux qui récompensent les ménages avec des systèmes de chauffage solaire de l'eau chaude. Bon nombre de ces systèmes ont des retombées rapides⁴ comparativement aux chauffe-eaux électriques ou à gaz standard (environ deux ans d'amortissement pour les systèmes électriques et plus de six ans d'amortissement pour le gaz), et peuvent être particulièrement importants dans les milieux ruraux qui dépendent du bois pour chauffer l'eau pour les ménages, les institutions et les micros/petites entreprises. Dans de nombreuses régions du monde en développement, les systèmes de chauffage solaire de l'eau sont souvent extrêmement simples et construits avec des matériaux/main-d'œuvre locales bon marché.

³ La portance fait référence à la hauteur dont l'eau est élevée par la pompe.

⁴ La période d'amortissement correspond à la période de temps requise pour récupérer les coûts d'un investissement initial.

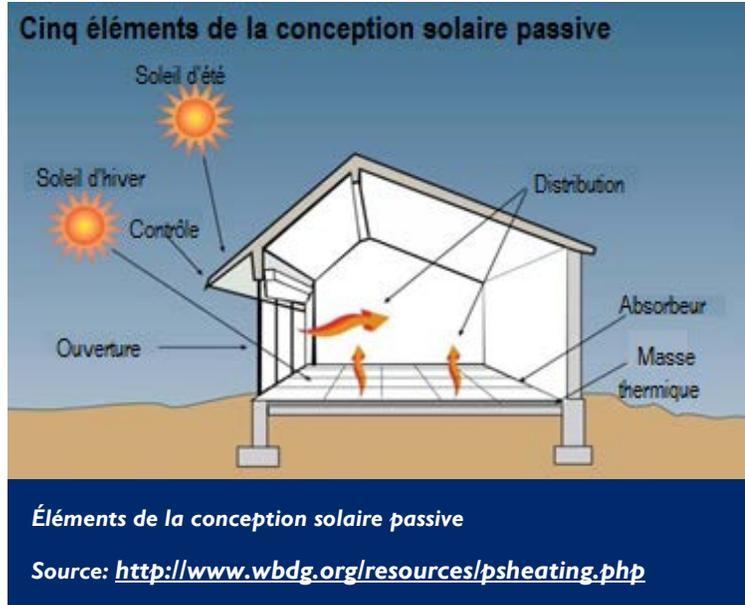
L'énergie thermique solaire peut également être utilisée pour contrôler le séchage de diverses cultures et produits, tels que les céréales, les fruits, le café et le poisson. **Les technologies de séchage solaire** consistent à placer le produit dans une boîte de séchage et à utiliser l'effet «cheminée» pour que l'air frais et l'air chaud circulent pour éliminer l'humidité pendant que le soleil sèche le produit (un ventilateur peut également être utilisé). Le séchage solaire soulage la pression environnementale en réduisant la quantité de bois de chauffage brûlée pour le séchage des cultures tout en réduisant la détérioration et l'épuisement des nutriments pendant le processus de séchage.

La **cuisson solaire** est une autre application de l'énergie thermique. La conception de base d'un four solaire est une boîte avec une couverture de verre doublée d'une isolation et une surface réfléchissante pour concentrer la chaleur sur les pots. Les pots peuvent être peints en noir pour attirer plus de chaleur. Bien que ces cuisinières ne soient efficaces qu'en plein soleil et nécessitent un temps de cuisson plus long que de nombreuses méthodes conventionnelles, elles ne nécessitent pas de bois, ce qui réduit les contraintes sur l'environnement où le bois est une source importante de combustible et permet aux femmes de se concentrer sur d'autres activités autres que la collecte de bois. Certaines cuisinières solaires, plutôt que d'être des boîtes ressemblant à un four, utilisent un réflecteur à forme parabolique pour concentrer la lumière du soleil sur une plaque de brûleur qui peut être utilisée pour frire et cuire les aliments rapidement, aussi longtemps que la lumière directe du soleil est disponible. Il existe de nombreuses cuisinières solaires disponibles dans le commerce, ainsi qu'un solide historique de cuisson solaire utilisant des cuiseurs construits localement dans le monde entier.

La **purification solaire de l'eau** est une méthode de décontamination de l'eau potable. L'utilisation d'un couvercle transparent en verre ou en plastique sur un plateau d'eau peu profond avec un support noir permet au soleil de chauffer l'eau. L'eau s'évapore ensuite et se condense sur la face inférieure de la couverture. Le couvercle est incliné de sorte que l'eau propre peut être drainée dans un collecteur séparé. Une autre option est la pasteurisation, qui chauffe l'eau à 65°C pendant six minutes, tuant les bactéries et les parasites nocifs pour les humains. Ce type de pasteurisation est facilement réalisable en utilisant des matériaux très basiques, tels que des bouteilles en verre posées sur des toits urbains chauds par temps ensoleillé.

La **réfrigération solaire thermique** utilise un collecteur solaire pour fournir de la chaleur à un système de refroidissement de réfrigérants dans des tubes collecteurs. Un réservoir de stockage thermique reçoit et stocke les réfrigérants, qui alimentent alors l'unité de climatisation thermique (AC) pour la réfrigération. Un échangeur de chaleur est utilisé pour faire circuler la chaleur entre les espaces chauds et froids.

Les conceptions solaires passives utilisent l'énergie naturelle du soleil pour améliorer le confort thermique dans une structure sans l'utilisation de dispositifs mécaniques. Les stratégies de conception peuvent être utilisées pour chauffer et climatiser les bâtiments. Les changements d'orientation, d'emplacement et d'aménagement paysager ont le potentiel de réduire les besoins en énergie d'un bâtiment de 20%. Par exemple, faire face aux fenêtres vers le soleil de midi dans les climats froids peut réduire le besoin de chauffage mécanique. Si la conception solaire est utilisée tôt dans le processus de construction, les coûts de chauffage et de refroidissement peuvent être considérablement réduits avec des périodes de remboursement rapide pour intégrer des caractéristiques solaires passives dans la conception initiale du bâtiment.



IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET MESURES D'ATTÉNUATION

Comparée à l'énergie fossile, l'énergie solaire produit moins d'émissions atmosphériques. Il y a cependant des impacts environnementaux potentiels associés à la construction, l'exploitation et le démantèlement de certains systèmes d'énergie solaire, y compris la pollution des environnements avoisinants et les émissions de GHG.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des principaux impacts environnementaux associés aux projets d'énergie solaire à petite échelle. Pour chaque impact environnemental potentiel répertorié, les mesures d'atténuation et de surveillance recommandées sont fournies. Pour chaque mesure d'atténuation et de surveillance, la phase au cours de laquelle les mesures recommandées doivent être prises est indiquée par la clé suivante : Planification et conception (P&D), Construction (C), Exploitation et maintenance (O&M) et Démantèlement (DCM).

Note: Les impacts environnementaux et les mesures d'atténuation et de suivi correspondantes sont destinés à servir de guide. Bien que ces listes soient censées être exhaustives, elles ne peuvent pas être considérées comme étant complètes, et il faut toujours évaluer les impacts à l'échelle du projet afin de s'assurer d'un traitement approprié des problèmes.

De plus, le tableau ci-dessous ne devrait pas être utilisé à la place d'un plan d'atténuation et de suivi de l'environnement propre au projet (EMMP). Un modèle pour les EMMP spécifiques à un projet est fourni dans l'ANNEXE I du présent document.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Changement d'affectation des terres. Le changement d'affectation des terres peut affecter les services écosystémiques dans la région. Il faut envisager comment minimiser les changements qui auront le plus d'impact négatif sur les services écosystémiques important et les habitats sensibles. Les terres et les sols dans la zone désignée peuvent être affectés par le défrichage, la construction et le démontage des systèmes thermiques et PV (en particulier si un puit doit être foré pour un système de pompage PV). Les sites sensibles du patrimoine biologique ou culturel peuvent être affectés par ces changements de terres. Pour les systèmes terrestres assez importants, les changements d'affectation des terres peuvent entraîner une perte d'habitat et / ou interférer avec les utilisations existantes des terres. Après la construction, cependant, une grande partie des terres autour du réseau se repeuplera avec la flore locale, même si certaines activités de fauchage et d'entretien seront nécessaires pour les activités d'exploitation et d'entretien.</p> <p>En règle générale, la conversion de l'utilisation des terres pour les centrales photovoltaïques est de 30.5 m²/kW (en supposant une production de pointe). Les systèmes thermiques solaires sont principalement situés sur les toits. Les systèmes PV solaires peuvent également être situés sur les toits. Dans de tels cas, les changements d'affectation des terres ne sont pas une préoccupation importante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes photovoltaïques à petite échelle devraient être construits sur les toits des maisons ou des bâtiments lorsque cela est possible. (C, P & D) • Se référer aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID pour la construction (USAID Sector Environmental Guideline for Construction) pour des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à ces aspects des projets d'énergie solaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se référer aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID pour la construction (USAID Sector Environmental Guideline for Construction) pour des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à ces aspects des projets d'énergie solaire.
<p>Polluants. Les changements de liquide de refroidissement requis pendant le fonctionnement des systèmes solaires thermiques créent un risque de contamination accidentelle de l'eau. Les systèmes photovoltaïques font face à de faibles risques de pollution accidentelle, sauf dans le cas où un feu de système pourrait libérer des polluants</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élaborer et évaluer des plans de gestion et d'élimination des déchets avec les fournisseurs et les utilisateurs finaux à l'étape de la planification et de la conception. (P & M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluer la mise en œuvre des plans de gestion des déchets deux fois par an (O&M). • Tester deux fois par an la qualité de l'eau à

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>dans l'environnement. Dans ces cas, le risque d'émission de polluants est compatible avec les risques similaires de tout système électrique.</p> <p>Les systèmes photovoltaïques des pays en développement reposent généralement sur des batteries. Les batteries contiennent des matériaux toxiques qui doivent être éliminés comme des déchets dangereux lorsque ces batteries deviennent obsolètes.</p>	<p>D)</p> <ul style="list-style-type: none"> Assurez-vous que les anciennes batteries PV sont séparées des autres déchets solides et éliminées avec d'autres déchets dangereux, par exemple des peintures et des produits chimiques toxiques. Le plan de gestion des déchets devrait tenir compte de tous ces déchets potentiellement dangereux dans leur intégralité. (P&D, O&M, DCM) 	<p>proximité pour s'assurer qu'il n'y a pas de contamination par les liquides de refroidissement. (O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> S'assurer que les installations appropriées de recyclage des batteries sont disponibles et superviser le processus de recyclage. (P&D, O&M, DCM)
<p>Impacts visuels. Les panneaux solaires et les grands panneaux solaires peuvent être considérés comme déplaisants sur le plan esthétique, en particulier dans les zones rurales et les régions culturellement sensibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> S'engager avec la communauté pendant la planification afin de minimiser les impacts esthétiques et visuels négatifs, en accordant une attention particulière au choix du site et à la conception. Prévoir une meilleure intégration du système avec les bâtiments (P&D, C) 	<ul style="list-style-type: none"> Mener des enquêtes auprès des parties prenantes et des communautés avant et pendant la mise en œuvre du projet. Généralement, des consultations semestrielles ou trimestrielles sont appropriées. (P&D, O&M)
<p>Utilisation de l'eau. Le forage d'un puits pour le pompage de l'eau solaire peut perturber le débit et la qualité de l'eau souterraine naturelle. Les modifications du gradient de pression naturel pendant le forage peuvent également interrompre la production d'eau des puits avoisinants.</p> <p>Le nettoyage périodique des panneaux photovoltaïques peut être nécessaire dans les zones où les précipitations sont limitées et nécessite des quantités d'eau non négligeables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Les joints de ciment peuvent être utilisés pour séparer et protéger les roches, le sol et les eaux souterraines environnantes. (C) Les nouveaux puits devraient être à une distance sécuritaire des puits existants afin d'éviter les changements dans les gradients de 	<ul style="list-style-type: none"> Suivre les directives d'atténuation et de suivi contenues dans les Directives environnementales sectorielles de l'USAID pour l'eau et l'assainissement (USAID Sector Environmental Guidelines for Water

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Pour un PV à l'échelle industrielle, il faut 98 à 113 litres d'eau par MWh.</p>	<p>pression qui pourraient affecter les puits existants. (P&D, C)</p>	<p>and Sanitation). (P&D, C, O&M)</p>
<p>Impact Indirect. Les systèmes PV nécessitant l'extraction de la silice et de divers métaux comprennent des « métaux énergétiques » tels que le gallium, l'indium, le sélénium et le tellure. Ces impacts peuvent ne pas être évidents pour les utilisateurs finaux, mais doivent être traités dans le cadre des évaluations environnementales du cycle de vie des projets PV.</p> <p>Le processus de fabrication des systèmes photovoltaïques, qui consomme beaucoup d'énergie, n'est pas non plus apparent pour les utilisateurs finaux. La quantité de matériaux dangereux dépend du type de cellule, les cellules monocristallines contenant les matériaux les plus dangereux. Au cours des processus réguliers, les gaz utilisés tels que le silane et la phosphine ne sont pas dangereux en tant qu'émissions atmosphériques, mais sont hautement toxiques en cas d'accident ou de fuite.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lorsque cela est possible et rentable, les demandes de soumissions et les prix des fournisseurs doivent contenir des dispositions sur la provenance et l'origine qui démontrent les vérifications nécessaires dans l'extraction et le traitement des métaux et des matières premières utilisés dans la fabrication des systèmes PV. (P&D) • Les mesures d'atténuation appropriées comprennent des dispositions d'approvisionnement exigeant le recyclage des produits chimiques utilisés, la prise de précautions appropriées lors de la fabrication (port de l'équipement de protection individuelle, etc.), ainsi que le choix du site et la conception du projet. (P&D, C, O&M). • Pour minimiser les impacts environnementaux liés à la production, des couches de cellules plus minces et des matériaux de production plus sûrs et plus efficaces devraient être explorés. (P&D) 	<ul style="list-style-type: none"> • Exiger l'auto-certification de la source / origine. Appliquer l'audit ponctuel lorsque cela est possible. (P&D, O&M) • Examiner les mesures de santé et de sécurité au travail chaque année. (O&M) • Suivre le nombre de blessures et d'accidents sur le site. (O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Sécurité. La technologie de haute valeur comme les systèmes solaires photovoltaïques peut être une cible majeure pour le vol. Le vol de batterie peut avoir un impact environnemental particulièrement négatif, car les voleurs sont connus pour se débarrasser du liquide de la batterie au hasard.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Installation et positionnement corrects (hors d'atteinte) des systèmes solaires avec matériel antivol, cages de batterie avec treillis. et des montures sécurisées. (P&D, C) • Pour les systèmes communautaires (ou dans les hôpitaux, les écoles, etc.), la participation de la communauté et / ou l'embauche d'un gardien pour protéger l'équipement peut être efficace. (O&M) • Former les opérateurs de panneaux solaires et les travaux de maintenance sur les mesures et stratégies de prévention contre le vol. (O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Exiger une maintenance ponctuelle / planifiée des systèmes solaires pour prévenir le vol et maintenir l'équipement. (O&M) • Examiner les mesures et les stratégies de prévention du vol chaque année. (O&M)

ÉNERGIE ÉOLIENNE

L'énergie éolienne peut offrir une option d'électrification rurale compétitive, en particulier dans les zones reculées où les ressources éoliennes sont abondantes.

APERÇU

Les projets d'énergie éolienne peuvent varier considérablement en termes d'échelle et de site. Des **éoliennes individuelles à petite échelle**⁵ peuvent être utilisées pour le pompage de l'eau et l'irrigation, ou pour fournir de l'énergie aux écoles rurales, aux hôpitaux et aux ménages individuels. Plusieurs turbines peuvent également être utilisées pour l'électrification communautaire ; grandes applications commerciales et institutionnelles ; ou de petits projets éoliens insulaires.

Contrairement aux développements éoliens à petite échelle, **les parcs éoliens à grande échelle** destinés à la production d'électricité peuvent s'étendre sur des centaines d'hectares, sur terre ou en mer. Cette directive aborde brièvement l'énergie éolienne à grande échelle, mais l'objectif principal de cette section est les impacts environnementaux potentiels bénéfiques et néfastes résultant de l'utilisation de systèmes éoliens de petite et moyenne échelle pour répondre aux demandes d'énergie dans des contextes de développement.



TENDANCES, ÉCONOMIE ET DÉFIS

Un Champ d'éolienne au Sri Lanka. Crédit Photo: Fairway Holdings.

Globalement, l'énergie éolienne est une source de production d'énergie en croissance rapide. Entre 2007 et 2012, la production d'énergie éolienne a augmenté à un taux annuel de 25%. Tandis qu'une grande partie de cette croissance était alimentée par des installations à grande échelle et des investissements dans les pays développés, des investissements continus dans de grands marchés émergents (Chine et Inde) et de nouveaux investissements dans une liste toujours croissante de pays suggèrent un avenir prometteur. La Chine a installé 13 gigawatts (GW) d'énergie éolienne en 2012. Au cours de la même période, l'Inde a augmenté ses installations de plus de deux GW d'énergie éolienne.

⁵ Aux fins de la présente directive, **les petites éoliennes** sont des turbines produisant jusqu'à 100 kilowatts (kW) d'énergie, tel que défini par le Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL) des États-Unis. NREL définit **les éoliennes à moyenne échelle** comme des turbines générant entre 100 kW et 1 MW de puissance.

En Amérique latine, le Brésil, le Mexique, l'Argentine, le Chili, l'Uruguay, le Costa Rica et le Nicaragua comptent parmi les pays qui ont investi dans l'énergie éolienne. En Afrique, la croissance a été moins prononcée, bien que la Tunisie, l'Éthiopie et l'Afrique du Sud aient chacune installé au moins 0,5 GW d'énergie éolienne au cours de l'année écoulée.

L'énergie éolienne à petite échelle n'a pas encore connu une croissance rapide, même si cela commence à changer. La prévalence accrue des systèmes de micro-réseaux et de ressources énergétiques distribuées (DER) (discutée plus en détail dans la section sur les ressources énergétiques distribuées de cette directive) a créé une infrastructure plus favorable aux technologies de petites éoliennes. Les tendances récentes suggèrent que le marché favorise les éoliennes produisant au moins 50 kW, le financement étant plus facile à cette taille minimale.

Globalement, le coût de l'énergie éolienne à petite échelle devient de plus en plus compétitif par rapport aux autres systèmes de production d'énergie à petite échelle, avec des estimations récentes de 0,05 \$/kWh, mais les estimations les plus conservatrices vont de 0,15 à 0,35 \$/kWh.

Comme les éoliennes nécessitent des investissements en capital initiaux importants et, pour les grandes installations, des exigences d'implantation et d'installation complexes, les grands projets sont généralement plus rentables que les petits projets. En raison des faibles coûts d'exploitation après l'installation, les économies relatives réalisées grâce à l'investissement massif dans l'installation de parcs éoliens peuvent produire de l'électricité à moindre coût (par exemple 0,04 à 0,16 \$ / kWh).

Unités de stockage de batterie

La dépendance aux unités de stockage de batterie dans les applications hors réseau signifie que la conception du projet doit tenir compte des considérations environnementales associées.

Les batteries au plomb sont le plus souvent utilisées dans les applications de stockage hors réseau, sont disponibles en deux variétés principales : **inondées** et **régulées par vanne**. Du point de vue de la planification environnementale, les batteries au plomb inondées libèrent des volumes élevés d'hydrogène et de gaz d'oxygène produits pendant le fonctionnement normal. Ces gaz sont potentiellement explosifs, et si les batteries sont stockées dans une zone mal ventilée, posent un risque important pour les exécutants du projet et les bénéficiaires!

En revanche, les batteries au plomb régulées par vanne recombinent les gaz hydrogène et oxygène produits pendant le fonctionnement normal à l'intérieur de la batterie. Alors qu'un peu de gaz est encore libéré, il est nominal par rapport aux batteries au plomb inondées, et seule une ventilation modérée est nécessaire.

Plus généralement, les batteries au plomb contiennent une variété de matériaux potentiellement dangereux. Une sécurité et une élimination adéquates des piles sont essentielles pour minimiser les risques d'exposition dangereuse.

Pour plus d'informations sur l'utilisation et la gestion des batteries et des unités de stockage de batteries, reportez-vous aux ressources Powering Health de l'USAID sur les batteries et la gestion de la batterie et la prévention contre le vol ([Batteries and Battery Management](#) and [Theft Prevention](#))

APPLICATIONS DES TECHNOLOGIES DE PETITES ÉOLIENNES

Applications éoliennes domestiques et institutionnelles. De plus en plus, les éoliennes à petite échelle offrent une alternative compétitive au diesel et aux autres moyens traditionnels d'électrification rurale, tant en termes de coût que de mise en œuvre. Les projets peuvent être dimensionnés pour fournir suffisamment d'énergie pour les maisons, les écoles, les fermes et les hôpitaux, beaucoup produisant moins de 5 kW de puissance.

Dans de nombreux cas, la connexion à un réseau national peut s'avérer trop coûteuse pour des projets visant à répondre aux besoins modestes en électricité de nombreuses zones rurales des pays en développement. De plus, la localisation de petites turbines de manière à ce qu'elles se connectent directement aux bâtiments ou aux micro-réseaux de villages locaux peut offrir une plus grande desserte de l'électricité qu'une source d'énergie centralisée non fiable. Les éoliennes destinées aux applications hors réseau intègrent (généralement des batteries) des dispositifs de stockage, de contrôle et de conditionnement d'énergie (également appelés **composants du système**). Bien que ces systèmes soient coûteux à mettre en œuvre, ils peuvent fournir une alimentation ininterrompue pour les hôpitaux, les équipements de communication et d'autres charges utiles.

La variabilité des ressources éoliennes découlant des fluctuations quotidiennes de la vitesse du vent favorise les systèmes hybrides qui comprennent à la fois la technologie solaire photovoltaïque (PV) et des éoliennes plus petites. Le couplage des éoliennes avec le PV offre la possibilité d'exploiter la puissance pendant un temps sans vent ou de vent faible et pendant l'obscurité ou pendant un temps couvert.

Les éoliennes dans les applications connectées au réseau sont moins chères et plus simples à mettre en œuvre, et peuvent augmenter la fiabilité du réseau et réduire les risques associés à la gestion des unités de stockage de batterie (voir encadré ci-dessus).

Pompage de l'eau à l'énergie éolienne. Alors que le pompage mécanique de l'eau par éolienne est une technologie vieille de plusieurs siècles, les technologies de pompage de l'eau à énergie éolienne plus avancées ont été relativement lentes à acquérir une popularité généralisée. Bien que les nouvelles technologies de pompage de l'eau à énergie éolienne conviendraient bien aux zones rurales en développement, la connaissance limitée de ces technologies et leur disponibilité limitent leur utilisation. Les technologies de pompage de l'eau à l'énergie éolienne deviennent de plus en plus abordables et peuvent fournir suffisamment d'eau pour satisfaire les besoins des petits villages ruraux. Comme discuté ci-dessus, les systèmes hybrides impliquant à la fois des systèmes éoliens et PV peuvent fournir une plus grande assurance. Reportez-vous à la fiche technique développée par Practical Action ([Technical factsheet developed by Practical Action](#)) pour plus d'informations sur les pompes à eau à énergie éolienne.

Projets éoliens communautaires. Les projets qui partagent des avantages énergétiques entre des groupes de personnes sont appelés des projets éoliens communautaires. L'investissement collectif et la propriété, par exemple, d'une turbine de 100 kW peuvent apporter des avantages énergétiques à une variété d'utilisateurs finaux. Des projets éoliens communautaires réussis ont été mis en œuvre dans divers contextes, notamment des écoles, des villes, des coopératives agricoles et des îles. L'Encadré "Cabeólica, Cap-Vert: Vent de Petite Ile" ci-dessus offre un regard plus attentif sur un parc éolien sur l'île

Cabeólica, Cap Vert: Vent de Petite Ile.

En 2009, le gouvernement du Cap-Vert a développé Cabeólica, une société publique-privée chargée de développer le potentiel éolien du Cap-Vert.

En tant qu'État composé de neuf petites îles, le Cap-Vert reçoit régulièrement des vents modérés à forts (jusqu'à 10 mètres par seconde), et le coût du transport du carburant diesel vers les groupes électrogènes est extrêmement élevé.

En 2010, Cabeólica a levé 78 millions de dollars auprès de la Société financière d'Afrique, de Finnfund, d'InfraCo Ltd., de la Banque européenne d'investissement et de la Banque Africaine de Développement. Avec ces fonds, Cabeólica a entrepris le développement de quatre parcs éoliens distincts en 2011 et 2012, comprenant 30 éoliennes de 850 kW pour une capacité totale de 25,5 MW. Grâce à cet investissement, le Cap-Vert répond à près de 20% de ses besoins en électricité par l'énergie éolienne, tout en réduisant la consommation de diesel de 22 000 tonnes.

Les projets au Cap-Vert sont révélateurs de la viabilité potentielle des options d'énergie éolienne où les ressources éoliennes sont facilement disponibles, les gouvernements et les communautés du secteur privé sont alignés, et d'autres options énergétiques alternatives sont soit peu écologiques ou économiquement peu attrayantes.

Source: Prix Ashden, 2013. <http://www.ashden.org/blog/what-small-island-can-teach-rest-world-about-wind-power>

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'ÉOLIENNE À PETITE ÉCHELLE

Le tableau ci-dessus donne un aperçu des principaux impacts environnementaux associés à l'énergie éolienne à petite échelle, ainsi que des mesures d'atténuation et de surveillance recommandées. Pour chaque mesure d'atténuation et de surveillance, la planification et la conception (P&D), la construction (C), l'exploitation et la maintenance (O&M) et le démantèlement (DCM).

Ces impacts environnementaux, mesures d'atténuation et mesures de surveillance sont ci-dessous accompagnés d'un guide. Bien que ces listes soient censées être exhaustives, elles ne peuvent pas être considérées comme étant complètes, et il faut toujours déterminer les impacts potentiels au niveau du projet avant la mise en œuvre afin d'assurer la conception appropriée du projet.

Le tableau ci-dessous ne doit pas être utilisé à la place d'un plan d'atténuation et de surveillance de l'environnement propre au projet (EMMP). Un modèle pour les EMMP spécifiques à un projet est fourni dans l'ANNEXE I du présent document.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
Risque aviaire et risques pour la biodiversité. Alors que les petites éoliennes ne représentent généralement pas une menace aviaire importante en raison de leur faible hauteur et de leurs petits diamètres, les	<ul style="list-style-type: none">Effectuer une évaluation préalable au développement afin de s'assurer que les zones biologiquement sensibles	<ul style="list-style-type: none">Suivi des cas de dommages aux espèces d'oiseaux ou de chauves-souris. (P&D)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
oiseaux et les chauves-souris peuvent entrer en collision avec des turbines en fonctionnement ou être blessées en vol par les fluctuations de pression. Comme pour tout projet de construction la dégradation des terres peut également altérer ou détruire les habitats des animaux et végétaux.	<p>sont évitées. (P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Évitez les projets dans les zones où des espèces d'oiseaux et / ou de chauves-souris sont en voie de disparition lorsque cela est possible (P&D) • Lorsque l'emplacement du projet peut affecter des espèces en danger ou menacées, le fonctionnement des éoliennes peut être limité pour éviter un impact important (par exemple, une étude du comportement des chauves-souris montre qu'elles sont plus actives pendant les périodes de vent faible). (O&M) 	
<p>Perturbation des terres. Pour les éoliennes à plus petite échelle, la perturbation des terres n'a généralement pas d'impact environnemental significatif. En règle générale, moins de 1 acre de terrain par MW est perturbé de manière permanente par les activités des éoliennes et par les tours éoliennes à petite échelle. Cela signifie que l'utilisation globale des terres est minime.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le cas échéant, utiliser le site de l'installation éolienne pour d'autres utilisations telles que la production agricole ou le pâturage pour le bétail, afin de minimiser les perturbations sur les terres utilisées. (P&D, O&M) • Établir un protocole et un budget pour l'enlèvement des turbines à la fin de la vie utile. (P&D, DCM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Impliquer la communauté en ce qui concerne le choix du site, la conception et la gestion du projet avant la mise en œuvre du projet. (P&D) • Interviewer les membres de la communauté avant la mise en œuvre du projet pour s'assurer que l'utilisation des terres est compatible avec le développement de l'énergie éolienne. (P&D)
<p>Bruit et impacts visuels. Les éoliennes produisent du bruit et peuvent avoir un impact sur l'esthétique du site et sur les vues.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impliquer les membres de la communauté (et / ou du ménage) lors de la 	<ul style="list-style-type: none"> • Mener des sondages auprès des intervenants et des collectivités

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Ces impacts sont généralement minimes pour les installations éoliennes à petite échelle et pas de taille suffisante pour nuire à la santé communautaire.</p> <p>Néanmoins, les préférences communautaires doivent être planifiées dès le début du projet pour s'assurer que le projet est compatible avec les besoins de la communauté locale.</p>	<p>conception et de l'implantation du projet afin de s'assurer que l'emplacement et la sélection de la technologie correspondent aux besoins de la communauté et que les impacts négatifs sur l'esthétique et les zones de valeur culturelle ou historique sont évités ou minimisés. (P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pendant la planification, assurez-vous que l'emplacement du système éolien minimise les impacts sonores sur la communauté locale. (P&D) 	<p>pendant la préparation du concept</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mener des entrevues périodiques avec les membres de la communauté pour évaluer la satisfaction de la communauté à l'égard de l'installation et les efforts pour minimiser ou éviter les impacts négatifs sur l'esthétique ou sur des zones culturelles ou historiques sensibles. • Suivre les plaintes de la communauté au sujet du bruit. (O&M)
<p>Santé publique. L'eau stagnante provenant des débordements autour des pompes à eau entraînées par le vent peut constituer un risque pour la santé. Comme pour tout système d'approvisionnement en eau, le surpâturage près de l'approvisionnement en eau peut être un problème sérieux, en particulier dans les environnements arides et semi-arides</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir des comités d'utilisation des pompes éoliennes et de l'utilisation de l'eau pendant la phase de conception et former les membres de la communauté sur l'entretien adéquat des systèmes de pompe à eau éolienne et sur la façon d'identifier et de résoudre les problèmes d'équipement. (P&D, C, O&M) • Fournir une formation et mettre en œuvre des campagnes de sensibilisation pour alerter les bénéficiaires du projet sur les risques 	<ul style="list-style-type: none"> • Établir un comité d'utilisation de l'eau pour effectuer des vérifications hebdomadaires du fonctionnement de l'équipement et tenir des registres sur le nombre de membres de la communauté formés ou atteints par le biais de campagnes de sensibilisation. (P&D) (O&M) • Tenir des registres mensuels du nombre de maladies d'origine hydrique. (O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
	<p>potentiels pour la santé. (O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • S'assurer que les activités de pâturage sur le site de la pompe à eau sont minimisées ou éliminées entièrement. (P&D, O&M) • Utiliser un mécanisme d'arrêt automatique pour éviter les débordements autour des pompes à eau. (P&D, C, O&M) 	
<p>Utilisation de l'eau. Les pompes à eau alimentées par le vent répondent à des besoins importants. Cependant, ils ne sont efficaces que si l'emplacement des puits et / ou la sélection des pompes tient compte de la pertinence de la source d'eau, y compris le rendement durable et la qualité de l'eau saisonnière.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reportez-vous aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID sur l'eau et l'assainissement (USAID Sector Environmental Guideline on Water and Sanitation) pour les meilleures pratiques en matière de conception et de gestion des puits d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reportez-vous aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID sur l'eau et l'assainissement (USAID Sector Environmental Guideline on Water and Sanitation) pour les meilleures pratiques en matière de conception et de gestion des puits d'eau
<p>Utilisation de la batterie. Systèmes à vent faible conçus pour être considérés comme des déchets dangereux lorsque la durée de vie de la batterie est terminée.</p> <p>De plus, certaines batteries au plomb inondées, bien que moins coûteuses, nécessitent un stockage dans des zones bien ventilées afin de réduire le risque d'accumulation de gaz hydrogène et d'oxygène potentiellement combustibles libérés pendant le fonctionnement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élaborer et évaluer des plans de gestion et d'élimination des déchets avec les fournisseurs et les utilisateurs finaux à l'étape de la conception et de la conception. (P&D) • Assurez-vous que les vieilles batteries sont séparées des autres déchets solides et éliminées avec d'autres déchets dangereux, par 	<ul style="list-style-type: none"> • Suivre les incidences de matériaux volés • Suivre le nombre d'accidents résultant de l'utilisation de la batterie ou de l'exposition • Suivre le nombre d'accidents résultant de l'utilisation et de l'exposition à de la batterie (O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
	<p>exemple des peintures et des produits chimiques toxiques. Le plan de gestion des déchets devrait tenir compte de tous ces déchets potentiellement dangereux dans leur intégralité (P&D, O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sélectionnez les batteries en fonction de l'emplacement de stockage, en tenant compte de facteurs tels que la ventilation et la température • Sécurisez les batteries de sorte qu'elles ne puissent pas être volées pour être vendues comme ferraille ou utilisées à d'autres fins 	

PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE

Les projets de petites centrales hydroélectriques sont mis en œuvre selon diverses conceptions, la conception étant déterminée par les conditions propres au site, telles que le débit, la hauteur de chute, le niveau d'eau et les fluctuations saisonnières de la disponibilité de l'eau.

APERÇU

L'hydroélectricité opère en convertissant le flux des ressources en eau en électricité. L'eau qui s'écoule est **extraite** - ou prélevée - de la source d'eau (habituellement par des canaux) et est évacuée par **une conduite forcée** (habituellement un tuyau en plastique ou en acier) dans **la centrale**, où la rotation de la turbine et du générateur (couplés à l'arbre de turbine) se fait par la force de l'eau qui coule et l'énergie générée est transférée à la communauté via des lignes de transmission. Les mécanismes et les structures qui contrôlent la direction de l'écoulement de l'eau sont généralement appelés **des ouvrages de tête**. Lorsque l'eau quitte le système hydroélectrique, elle s'écoule de la centrale électrique à travers **le canal de fuite**, un canal sous le barrage, le déversoir ou la turbine. En fin de compte, la quantité d'électricité qui peut être générée dépend de la hauteur de chute de l'eau et du volume d'eau qui s'écoule à travers les pales de la turbine. C'est en fonction de:



Cette image d'une opération micro-barrage située au Népal montre l'alimentation de la conduite forcée dans la centrale électrique, alors qu'un cours d'eau continue de s'écouler le long de la centrale. Crédit Photo: Winrock International.

- Vitesse à laquelle un volume d'eau s'écoule (**débit**) à travers la turbine;
- Différence de hauteur entre l'élévation du niveau d'eau en amont et l'élévation de l'eau à la sortie de la turbine, moins le dénivelé à l'intérieur de la conduite forcée (**dénivelé net**); et
- Rendement de fonctionnement combiné de la turbine et du générateur.

Cette section donne un aperçu des meilleures pratiques de production hydroélectrique à petite échelle, des impacts environnementaux et des stratégies d'atténuation.

L'hydroélectricité à petite échelle est définie ici comme une centrale hydroélectrique produisant moins de 10 mégawatts (MW) d'énergie.⁶ Les sous-ensembles de petites centrales hydroélectriques aussi appelées **micro-hydro**, sont également couverts dans cette section. La mini-hydroélectricité est définie ici comme une centrale hydroélectrique produisant entre 100 kilowatts (kW) et 1 MW de puissance ; La micro-hydro est définie comme générant moins de 100 kW.

TENDANCES ET ÉCONOMIE

Les petites centrales hydroélectriques ont gagné en popularité dans le développement rural parce que la conception et la mise en œuvre des systèmes sont souvent rentables par rapport à la production d'électricité hors réseau à partir de combustibles fossiles traditionnels ou à des solutions électriques connectées au réseau dans les régions rurales éloignées (voir la section « Considération des coûts » de cette ligne directrice, pour un tableau comparant, pour des projets de production d'énergie renouvelable courants, les coûts liés à la durée de vie de projet). Les technologies sont considérées comme sans carbone, avec peu ou pas d'émissions de GHG en cours de fonctionnement. De plus, une fois installée, l'énergie produite peut constituer une source de revenus pour les communautés ou, si elle est connectée à un réseau, de plus gros fournisseurs d'électricité.

À l'échelle internationale, c'est en Asie que la petite hydroélectricité est actuellement la plus répandue. L'Inde dispose actuellement de plus de 3 500 MW de petites centrales hydroélectriques.⁷ La Chine compte plus de 45 000 centrales, pour une capacité totale supérieure à 50 GW. La Chine utilise également toute la gamme d'applications fonctionnelles pour les petites centrales hydroélectriques, avec connexion à des réseaux électriques centralisés, ainsi que dans des réseaux plus petits et isolés ou hors réseau. La plupart des autres pays asiatiques, y compris le Népal, le Sri Lanka, le Bhoutan, l'Indonésie, l'Afghanistan, le Pakistan et les Philippines, utilisent également de petites centrales hydroélectriques pour l'électrification en réseau ainsi que pour l'électrification rurale.

En revanche, en Amérique latine, l'hydroélectricité à moyenne et grande échelle est prédominante. Globalement, l'hydroélectricité représente plus de 60% de la production d'électricité en Amérique latine. En raison de l'important approvisionnement régional en hydroélectricité, la diversification de la production d'électricité en Amérique latine s'est orientée vers l'énergie éolienne, solaire et la biomasse plutôt que vers les petites centrales hydroélectriques.

L'Afrique subsaharienne a le potentiel le plus irréalisé pour le développement des petites centrales hydroélectriques. En 2006, 5% seulement des ressources hydroélectriques avaient été exploitées. Toutefois, des pays comme le Rwanda, le Kenya⁸, l'Éthiopie, l'Afrique du Sud, la Zambie et le Mozambique investissent de plus en plus dans de petits projets hydroélectriques ou micro-électriques. Aussi bien les projets intégrés sur réseau que ceux hors réseau des projets d'électrification rurale gagnent en importance. Alors que les opportunités augmentent, l'expansion a été entravée par des

⁶ Dans certains pays, tels que l'Inde et la Chine, l'hydroélectricité à petite échelle est définie comme la production d'énergie hydroélectrique jusqu'à 25 MW. Ailleurs, par exemple les États-Unis, considèrent que la petite échelle peut atteindre 30 MW. Cette directive utilise une échelle de 10 MW, adoptée par l'Agence internationale de l'énergie (IEA).

⁷ Selon la note de bas de page précédente, ce total comprend de petites centrales hydroélectriques qui produisent entre 10 et 25 MW; Cependant, il convient de noter que la capacité moyenne du projet n'est que de 3,8 MW.

⁸ Actuellement, plus de 50% de l'approvisionnement énergétique du Kenya provient de l'hydroélectricité.

régimes de réglementation médiocres, une mauvaise gestion budgétaire, des opérations inefficaces et des incitations limitées.

Chaque conception hydroélectrique présente des avantages et des inconvénients en fonction de l'efficacité de l'utilisation de la ressource en eau disponible, de l'ampleur des impacts sur l'environnement et du coût de la mise en œuvre du projet.

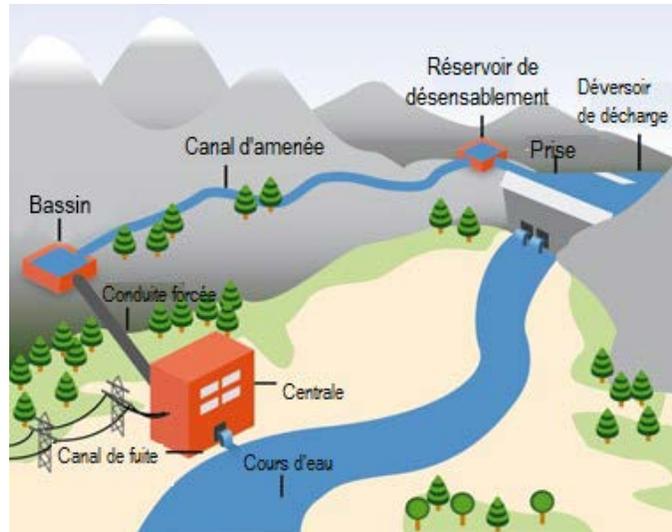
APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES

EXPLOITATION AU FIL DE L'EAU VS. RÉSERVOIR

La plupart des projets hydroélectriques se classent dans l'une des deux catégories suivantes : 1) **réservoir** ou 2) **exploitation au fil de l'eau (RoR)**, bien que certaines variations se produisent dans ces catégories.

La grande majorité des projets hydroélectriques à petite échelle financés par des donateurs sont des systèmes **RoR**, qui fonctionnent en détournant l'eau de la rivière dans un canal d'amenée à faible gradient pour obtenir un dénivelé désiré et passer à travers une conduite forcée vers la turbine

(généralement située dans une centrale électrique) qui alimente le générateur. Avec une conception et un emplacement durable et écologique, les projets RoR ont généralement un impact minime sur le débit des cours d'eau en aval et présentent l'avantage supplémentaire d'un investissement initial moindre par rapport aux projets hydroélectriques des réservoirs. Néanmoins, les impacts potentiels tels que la diminution du débit, les modifications de la charge sédimentaire ou l'érosion du sol, entre autres, peuvent nécessiter la mise en œuvre de mesures d'atténuation et de surveillance pour garantir l'absence d'impacts significatifs. De plus, lorsque plusieurs projets de RoR existent sur la même rivière ou plan d'eau, les impacts cumulatifs peuvent devenir importants (voir l'encadré ci-dessous «Hydro en cascade » et la section sur les impacts cumulatifs), exigeant la planification et la réglementation de bassins versants.



Les systèmes de ROR ont des limites techniques. Parce qu'ils dépendent des débits naturels, ils sont généralement sensibles à la variabilité saisonnière du débit, ce qui peut compliquer le maintien d'une production d'électricité fiable. Dans la mesure du possible, l'intégration des systèmes hydroélectriques RoR dans les systèmes de ressources énergétiques distribuées (DER) et de réseau peut réduire la vulnérabilité associée aux variations de débit. Voir la section Ressources d'énergie distribuée ([Distributed Energy Resource](#)) pour plus de détails sur les systèmes DER.

Une partie de la vulnérabilité des systèmes RoR peut également être atténuée par l'ajout de **retenues**. Les retenues sont des structures relativement petites, semblables à des barrages, qui régulent les débits

et les niveaux d'eau, améliorant ainsi la fiabilité de la production d'électricité, en particulier pendant les périodes de faible débit saisonnier.

Etude de cas: Hydro en cascade en Inde

Une seule petite centrale hydroélectrique à Uttarakhand, en Inde, puise de l'eau dans un tunnel de 4 km le long de la rivière. Ce site, en soi, réduit les débits mais ne peut pas causer de dommages majeurs à l'écosystème local.

Cependant, le même fleuve prend également en charge deux autres projets. L'un, appelé Kaliganga I, est un système de RoR de 4 MW. L'autre, Kaliganga II, est un système de 6 MW. Ces deux projets RoR supplémentaires utilisent 2,4 km de tunnels supplémentaires le long de la même rivière. De plus, les projets sont effectivement adjacents, le bassin de désalinisation Kaliganga II commençant à la queue du projet Kaliganga I.

Le résultat final est qu'un tronçon de la rivière d'origine est complètement sec, laissant la flore et la faune indigènes sans les ressources en eau nécessaires à la survie. Il est essentiel lors de la planification et de l'implantation de projets potentiels de prendre en compte les activités préexistantes et, dans la mesure du possible, de comprendre les effets cumulatifs de la mise en œuvre du projet.

Les **systèmes de réservoir** impliquent la construction de barrages pour réduire les variations de débit. Le réservoir hydroélectrique peut réguler le débit et le dénivelé du système hydroélectrique en contrôlant les niveaux d'eau en amont, ainsi que le moment, le niveau et le débit de l'eau pour assurer une alimentation fiable et constante. Cependant, **même les projets de réservoirs à petite échelle peuvent avoir des impacts environnementaux négatifs importants** - les schémas hydroélectriques des réservoirs font généralement l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement (EIA) approfondie. Une conception environnementale saine et la gestion de ces systèmes sont essentielles pour réduire les risques et atténuer les impacts négatifs.



*Cette turbine et ce générateur de micro-hydroélectricité a apporté du courant électrique et une grande satisfaction à une communauté rurale en zone reculée au Brésil. 2006.
Crédit Photo: Nazareno Natalino, Indalma Industria*

TURBINES

Les turbines hydrauliques entrent également dans deux grandes catégories: impulsion et réaction. Les turbines à impulsion fonctionnent dans l'air, et lorsque l'eau coule, elle heurte les aubes ou les glissières

de la turbine et fait tourner la turbine pour produire de l'électricité. **Les turbines à impulsion sont généralement les mieux adaptées aux sites à plus forte dénivelé, mais à des débits plus faibles.**

D'autre part, les turbines de réaction sont enfermées dans une enveloppe et entièrement immergées dans l'eau. Les pales de la turbine sont inclinées de sorte que les changements de pression résultant de l'écoulement de l'eau à travers le carter sont captés par les pales, entraînant la rotation des aubes de la turbine. **Les turbines de réaction fonctionnent généralement de la manière la plus efficace dans les zones ayant de faibles dénivelés et des débits plus élevés.**

Il existe plusieurs classes communes de turbines dans les deux catégories. Les turbines à impulsions communes incluent Pelton, Turgo (une variation sur Pelton), et le flux transversal. Les turbines de réaction comprennent Propeller, Francis et Kinetic. Le Département de l'Énergie des États-Unis (DOE) fournit des définitions utiles pour ces technologies sur http://www1.eere.energy.gov/water/hydro_turbine_types.html.

CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION ADAPTÉES AUX POISSONS

Les innovations récentes dans la conception des turbines ont mis l'accent sur les technologies qui réduisent les impacts environnementaux, en mettant particulièrement l'accent sur **les technologies adaptées aux poissons**. La turbine Alden, par exemple, a une conception de tire-bouchon plus lent qui réduit la mortalité des poissons.

Pour protéger la migration en aval des espèces de poissons locales, **des cribles à poissons** sont fréquemment installés à l'embouchure du canal d'amenée. Ceux-ci empêchent la majorité des poissons de pénétrer dans le canal d'amenée, ce qui minimise le risque que des poissons soient piégés, blessés ou tués par la turbine.

Les passes à poissons, les échelles à poissons ou les ascenseurs à poissons sont des options pour empêcher la perturbation de la migration des poissons en amont. La construction de retenues avec de grands déversements - comme cela peut se produire avec des seuils à crête large et des seuils à crête acérée - peut bloquer les schémas migratoires en amont, tout comme les barrages. Les passes de poissons sont de petits canaux déviés qui maintiennent les niveaux d'eau d'origine du plan d'eau. Les échelles à poissons sont des itinéraires alternatifs, avec une série de «pas» incrémentaux à des hauteurs qui n'empêchent pas la migration. Les ascenseurs de poissons utilisent en fait un ascenseur physique, un suffisamment rempli, pour transporter le poisson au-dessus de la barrière. Les passes à poissons sont plus fréquentes sur les projets à plus petite échelle, tandis que les échelles à poissons et les ascenseurs sont plus fréquemment utilisés sur les grands projets comportant de grands barrages.

RETENUES

Par rapport aux barrages, les retenues offrent une technologie à moindre coût et à faible impact pour augmenter le dénivelé et pour mesurer et réguler le débit en aval. Les retenues bloquent temporairement l'écoulement de l'eau pour créer un petit dénivelé et assurent que le débit souhaité est dévié dans le canal d'amenée à travers l'entrée. En filtrant l'eau à travers une zone désignée (de forme spécifiée), les retenues permettent une mesure claire du volume d'eau passant à travers ou au-dessus de la structure. De plus, les retenues aident à assurer qu'une quantité suffisante d'eau est canalisée à travers

le canal d'amenée dans la conduite forcée (pour les systèmes de ROR) pendant les périodes de faible débit.

Le choix du déversoir approprié dépend des conditions propres au site, car les différents types de retenues ont différents avantages et inconvénients. La ressource River Weirs, Guide de bonnes pratiques (2003) fournit une évaluation et une discussion approfondies des différentes structures de retenues, de leurs applications potentielles et des impacts environnementaux associés (voir la bibliographie annotée pour plus d'informations).

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET MESURES D'ATTÉNUATION

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des principaux impacts environnementaux associés aux projets hydroélectriques ROR. Pour chaque impact environnemental mentionné, les mesures d'atténuation et de surveillance recommandées sont fournies. Pour chaque mesure d'atténuation et de surveillance, la phase au cours de laquelle les mesures recommandées doivent être prises est indiquée par la clé suivante: Planification et conception (P&D), Construction (C), Exploitation et maintenance (O & M) et Démantèlement (DCM).

Les impacts environnementaux inclus, les mesures d'atténuation et les mesures de surveillance sont destinés à servir de guide. Bien que ces listes soient censées être exhaustives, elles ne peuvent pas être considérées comme étant complètes, et il faut toujours déterminer les impacts potentiels au niveau du projet avant la mise en œuvre afin d'assurer la conception appropriée du projet.

De plus, le tableau ci-dessous ne devrait pas être utilisé à la place d'un plan d'atténuation et de surveillance de l'environnement (EMMP) propre au projet. Un modèle pour les EMMP spécifiques à un projet est fourni dans l'ANNEXE I du présent document.

AU FIL DE L'EAU

Selon l'écosystème dans lequel un système de ROR est installé, de nombreux impacts environnementaux peuvent être atténués par une analyse approfondie du site pendant la phase de planification du projet et l'incorporation subséquente de mesures d'atténuation appropriées et de surveillance durant toute la vie du projet. Les systèmes ROR qui impliquent la construction de grandes retenues peuvent inclure certains des risques et des considérations pour le réservoir hydroélectrique.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Hydrologie locale. Les systèmes de RoR à petite échelle ont le potentiel de modifier l'hydrologie locale. Lorsque l'eau est dérivée par une conduite forcée, la voie d'eau principale est affectée, au minimum, par des niveaux de débit réduits. La réduction des débits d'eau peut entraîner des changements de température, affecter les niveaux de sédimentation dans l'eau et perturber les schémas de migration des poissons indigènes et</p>	<ul style="list-style-type: none"> Évaluer la demande et les besoins de base en matière d'utilisation de l'eau dans la région en consultant les utilisateurs de l'eau au niveau local. (P&D) Effectuer des pré-évaluations approfondies des conditions du site, y compris les débits historiques, les variations 	<ul style="list-style-type: none"> Mesurer et tenir à jour des données sur les débits élevés et les débits faibles et sur la variabilité saisonnière des débits. (P&D, O&M) Réévaluer l'hydrologie locale chaque année. (O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>d'autres espèces animales et végétales fluviales.</p> <p>De plus, les retenues modifient les niveaux d'eau en amont et en aval et (potentiellement) les débits. Le changement des niveaux d'eau, s'il est suffisamment important, peut augmenter le potentiel d'inondation en amont, modifier les taux de sédimentation en aval et affecter les espèces terrestres et la flore et la faune aquatiques qui dépendent des ressources en amont et en aval. L'échec des retenues / barrages peut inonder les communautés en aval.</p>	<p>saisonniers du débit, la température de l'eau, les besoins en eau, les niveaux de sédimentation de base et la flore et la faune locales les plus susceptibles d'être affectées.</p> <p>Le faire avant toute détermination finale de l'emplacement et de la conception du site.</p> <p>Incorporer des mesures dans la conception pour atténuer les impacts sur les biens et services écologiques. (P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • S'assurer que les projets maintiennent 10% à 15% du débit de la saison sèche comme « flux environnemental » dans la partie asséchée de la rivière au cours de l'année, comme une pratique acceptée pour minimiser l'impact sur la flore et la faune aquatiques. (P&D, O&M) • Ajuster l'abstraction pour tenir compte des variations saisonnières du débit afin que 1) les débits élevés ne soient pas excessivement réduits par une surexploitation excessive, et 2) que le débit ne devienne jamais trop bas pour assécher complètement ou sensiblement réduire le niveau global de l'eau. (O&M) • Les projets de conception ont un débit de dépassement de 90% pour les microcentrales hydroélectriques et de 60 à 70% pour les petits réseaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Faire la synthèse biannuelle du nombre de cas où les seuils d'abstraction pendant les périodes de débit élevé ou faible sont violés. (O&M) • Surveiller les niveaux d'inondation et la capacité du déversoir à résister à l'inondation et à la capacité des murs de protection à contenir le débit d'inondation (O&M).

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
	<p>hydroélectriques. Le débit de dépassement fait référence au pourcentage de temps où le débit de la rivière est supérieur au débit nominal. (P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construire des retenues pour résister au maximum conception des niveaux de crue, et prenant en compte les impacts potentiels du changement climatique. Les murs de protection contre les inondations doivent être conçus et construits de manière à protéger les structures des ouvrages de soutènement et à confiner toutes les inondations maximales prévues couler dans le chenal de la rivière. (P&D, C) • Les retenues situées à l'écart des zones présentant des risques d'inondation risquent de se retrouver dans les communautés en aval et en amont. (P&D) • Effectuer les réparations immédiatement après la saison des crues afin d'éviter de graves dommages aux retenues et aux autres structures des ouvrages de soutènement comme les prises d'eau, les pièges à gravier et les bassins de désensablement. (O&M) 	
<p>Érosion du sol. La modification de l'hydrologie et des débits locaux à la suite de l'introduction de retenues et de systèmes RoR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluer l'aptitude du sol à soutenir l'hydrologie altérée 	<ul style="list-style-type: none"> • Surveiller la stabilité des berges des rivières au moyen d'inspections

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>peut entraîner une augmentation de l'érosion le long des berges et du canal.</p>	<p>avant la mise en œuvre du projet. (P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimiser les fluctuations de débit dans la mesure du possible sélectionner les sites de projet présentant une variabilité saisonnière moindre lorsque cela est possible. (P&D, O&M) • Planter de la végétation indigène le long des rives, dans la mesure du possible, pour stabiliser les berges. (P&D, C, O&M) • Concevoir le canal de fuite pour minimiser l'érosion aux points de réentrée. (P&D, C, O&M) 	<p>visuelles régulières et, au besoin, d'analyses périodiques des sols; évaluer les berges d'une rivière à la suite de toutes les grandes tempêtes, inondations ou autres événements perturbateurs importants. (O&M)</p>
<p>Perte de biodiversité et altération des habitats.⁹ Les habitats et la biodiversité peuvent subir des impacts négatifs en conséquence directe des modifications de l'hydrologie locale (principalement le long de la section déviée de la voie navigable). Une réduction du débit d'eau et / ou une modification subséquente de la température de l'eau peuvent créer des conditions inadaptées à la flore et à la faune locales, créant ainsi des impacts écologiques indirects.</p> <p>De même, les changements dans la qualité de l'eau et/ou les niveaux de sédimentation peuvent créer des conditions inadéquates pour la flore et la faune aquatiques, qui peuvent à</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer une pré-évaluation approfondie des conditions du site, y compris les évaluations saisonnières des débits, la température de l'eau, les besoins en eau, les niveaux de sédimentation de référence et la flore et la faune locales potentiellement affectées avant toute détermination finale de la conception et de l'emplacement. (P&D) • Compenser les impacts prévisibles et inévitables sur la flore et la faune locale en 	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une base de référence avant le projet pour la faune et la flore riveraine. Sélectionner les espèces indicatrices clés à des fins de surveillance. (P&D) • Effectuer un recensement biotique lors de haut et de bas débit deux fois par an. (O&M)

⁹ Pour les projets particulièrement petits - tels que les projets de micro et de mini-hydroélectricité - les impacts sur la biodiversité et l'habitat peuvent être très faibles. Les impacts potentiels doivent encore être évalués, mais l'étendue de l'évaluation doit être proportionnelle à l'ampleur du risque. En fin de compte, l'ESDM exige que le potentiel de risque environnemental soit bien compris avant la mise en œuvre du projet.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>leur tour avoir un impact sur les espèces terrestres ou les communautés locales.</p>	<p>replantant la végétation ou en réintroduisant du poisson dans des endroits non affectés choisis à cet effet. (O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> Portez une attention particulière à l'évaluation de la présence d'espèces en voie de disparition dans des habitats uniques. (P&D) 	
<p>Obstacle à la migration des poissons. Les systèmes de retour à la propriété peuvent affecter directement les schémas migratoires des espèces de poissons locales. Les poissons qui migrent en aval peuvent trouver le débit réduit du cours d'eau insuffisant pour soutenir leur migration. De même, si les poissons traversent la centrale, ils peuvent être pris dans la turbine, entraînant des blessures ou la mort. Les retenues peuvent entraver la migration des poissons. Et, comme pour la migration en aval, les parties dégradées de la voie navigable peuvent s'avérer infranchissables ou défavorables à la migration des poissons en amont.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Concevoir un système pour fournir un «débit écologique» minimal requis en tout temps pour soutenir la vie aquatique. Installer des écrans aux prises d'eau pour protéger le poisson pendant les migrations en aval (P&D, C) Installer des « échelles à poisson » ou des « passes à poisson » pour permettre aux poissons de contourner les retenues et/ou les turbines, lorsque les passes à poissons sont exigées par les règlements EIA locaux et/ou lorsque les espèces touchées en bénéficieront le plus (p. migration). (P&D, C) Dans la mesure du possible, utiliser des technologies de turbine « adaptées aux poissons ». (P&D, C) 	<ul style="list-style-type: none"> Recensement de base du biote avant et après le haut et le bas débit, suivi d'un recensement semestriel du biote en amont et en aval, y compris les espèces de poissons migrateurs. (O & M)
<p>Augmentation de l'activité humaine dans la zone. L'introduction de barrages, de conduites forcées et de centrales électriques exige une construction et un développement modestes sur site. À son tour, RoR crée une</p>	<ul style="list-style-type: none"> Si possible, implanter et construire des retenues dans des lieux déjà aménagés, en limitant l'impact des nouvelles infrastructures ou en 	<ul style="list-style-type: none"> Périodiquement (par exemple deux fois par an), notez les changements par rapport à la population humaine de base de la communauté au cours de la période de mise en

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>empreinte humaine accrue dans la zone associée à la construction.</p> <p>De nouvelles routes (ou l'expansion de routes existantes) peuvent également être nécessaires pour assurer l'accès des véhicules de construction. Une augmentation des déchets et des matériaux de construction non utilisés peut se produire. Dans certains cas, il peut être nécessaire de construire de nouvelles lignes de transmission.</p>	<p>agrandissant les routes existantes. (P&D, C)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ne dégager que la quantité minimale de végétation requise pour permettre la construction; replantation la végétation enlevée dans les zones non affectées. De nombreux pays hôtes ont des lois et des règlements concernant la replantation qui sont généralement liés à l'approbation de permis environnementaux. (C, O et M) • Mener des campagnes de sensibilisation pour les communautés locales et les personnes nouvelles dans la région sur les écosystèmes sensibles et les espèces dans la zone du projet. (P&D, C, O&M) • Se référer à (USAID Sector Environmental Guidelines for Rural Roads et USAID Sector Environmental Guideline for Construction) 	<p>œuvre du projet. (C, O et M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tenir des registres sur la végétation replantée tout au long de la construction. (O & M) • Se référer à chacune des directives environnementales sectorielles de l'USAID pour les routes rurales et aux directives environnementales sectorielles de l'USAID pour la construction (USAID Sector Environmental Guidelines for Rural Roads et USAID Sector Environmental Guideline for Construction) pour un examen supplémentaire des impacts environnementaux et des guides en matière d'atténuation.

RÉSERVOIR HYDROELECTRIQUE

Comme il a été mentionné dans la discussion sur les projets hydroélectriques vs les projets de réservoirs hydroélectriques, les projets hydroélectriques à petite échelle dans les réservoirs sont assez rares. Néanmoins, les impacts environnementaux et sociaux résultant de la création de réservoirs - même pour des projets à plus petite échelle (<10 MW) - peuvent être importants, y compris des inondations potentielles, des altérations majeures des habitats de la flore et de la faune locales; érosion du sol; les changements aux niveaux de sédimentation de l'eau; la création d'obstacles à la migration des poissons; et l'introduction de nouvelles routes, de lignes de transmission, d'une augmentation du trafic humain, du déplacement d'individus ou de communautés, de la réinstallation de logements et de la perte de zones historiques ou culturellement significatives.

DIRECTIVE ENVIRONNEMENTALE SECTORIELLE :
ÉNERGIE À PETITE ÉCHELLE

Il est important de noter que la plupart des bailleurs de fonds bilatéraux et multilatéraux et les lois d'évaluation environnementale de nombreux pays exigent une évaluation de l'impact environnemental et social avant la mise en œuvre même de projets hydroélectriques de réservoirs à petite échelle.

Cette directive ne fournit pas de tableau d'impact environnemental, d'atténuation et de surveillance pour les projets hydroélectriques des réservoirs, car les impacts potentiels sont importants et la mise en œuvre de tels projets est rare. Des recherches substantielles sont disponibles qui traitent de l'ensemble des impacts et des mesures d'atténuation des meilleures pratiques associées à l'hydroélectricité des réservoirs, avec des références sélectionnées fournies dans la bibliographie annotée.

RELATIONS TRANSFRONTALIÈRES DE L'EAU

Les projets hydroélectriques - même les petits projets hydroélectriques - ont le potentiel d'engager des acteurs **transfrontaliers**. En particulier, il peut y avoir des complications importantes dans l'attribution de la responsabilité des impacts en aval lorsque ces impacts se produisent à la frontière à partir du site de mise en œuvre du projet. À titre d'exemple, le Libéria a accès à des ressources hydroélectriques potentiellement importantes de la rivière Cavalla. Cependant, cette rivière est partagée avec un pays voisin, la Côte d'Ivoire, et l'utilisation de ces ressources hydroélectriques nécessitera une coopération bilatérale, y compris des règles établies concernant les bénéficiaires et les parties responsables des impacts du projet.

Cela dit, historiquement les problèmes d'eau n'ont pas conduit à un conflit armé. Grâce à la collaboration et à l'engagement direct, les problèmes liés à l'eau peuvent souvent déboucher sur un accord de coopération plutôt que sur un conflit. Le Programme hydrologique international (IHP) de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et le Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau ont développé conjointement le programme PCCP ([From Potential Conflict to Cooperation Potential \(PCCP\) programme](#)), une ressource consacrée au règlement pacifique et équitable des relations transfrontière de l'eau.

[L'Institut pour l'eau et les bassins versants](#) du Programme de transformation et de gestion des conflits hydrologiques de l'Oregon State University contient d'importantes données et recherches sur les conflits et les résolutions historiques sur les eaux transfrontalières, les sites potentiels de futurs problèmes d'eau et les outils d'évaluation des risques potentiels.

GÉOTHERMIE

La technologie géothermique utilise des réservoirs de vapeur ou d'eau chaude dans le sol pour produire de l'électricité, chauffer et climatiser des bâtiments et pour diverses applications de transformation agricole

APERÇU

La technologie géothermique utilise des réservoirs de vapeur ou d'eau chaude dans le sol pour produire de l'électricité, chauffer et climatiser des bâtiments et pour diverses applications de transformation agricole. Selon un rapport de 2010 du Congrès géothermique mondial, la capacité totale des centrales géothermiques dans le monde est d'environ 11 000 MW. La disponibilité d'une énergie géothermique compétitive, son potentiel d'économies d'énergie et la prévention des émissions de GHG en font une source d'énergie importante et en croissance pour le développement.

Les ressources géothermiques sont généralement situées à trois niveaux de profondeur distincts - profonds, peu profonds et superficiel. **Les ressources géothermiques superficielles** sont soit très proches de la surface terrestre, soit tirent profit de la chaleur du sol près de la surface de la terre (10-15,5 ° C). La chaleur plus douce est particulièrement bien adaptée au chauffage direct, comme le chauffage des bâtiments et des serres. Les zones présentant les températures souterraines les plus élevées et le potentiel géothermique le plus élevé sont généralement situées dans des régions où les volcans sont actifs ou géologiquement «jeunes». Ces zones ont tendance à être sismiquement actives (c'est-à-dire sujettes aux tremblements de terre). Étant donné les investissements en capital requis pour la construction de centrales géothermiques, ces zones peuvent présenter des risques importants pour une centrale de production d'énergie.



La vapeur géothermique est condensée et convertie en eau douce pour la production agricole à Eburru, Kenya. Crédit Photo Robert Foster, Winrock International.

Les applications de l'énergie géothermique, à grande et petite échelle, se répartissent en deux catégories générales :

Utilisation directe :

- Utilisation de la chaleur pour chauffer/rafraîchir les bâtiments, l'agriculture et l'aquaculture, les serres et les installations industrielles.

- Pompes à chaleur : cibler la température du sol peu profonde pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments

Production d'électricité : L'eau chaude et la vapeur des réservoirs entraînent de grands générateurs d'énergie pour produire de l'électricité.

TENDANCES

Les ressources géothermiques offrent un potentiel important pour une grande production d'énergie renouvelable. Les coûts des investissements ont été un obstacle important au développement géothermique à grande échelle; cependant, les coûts de la production d'électricité géothermique ont été réduits de moitié depuis 1980 dans certaines régions et il existe un grand potentiel pour des applications géothermiques à petite échelle pour l'agriculture, les loisirs, les applications commerciales et les petites industries.

Les projets géothermiques à petite échelle bien adaptés pour desservir les populations rurales sont définis dans cette directive comme étant inférieurs à 10 MW. Alors que les projets géothermiques à petite échelle ont le potentiel de répondre à la demande d'énergie dans les pays en développement, le principal défi consiste à obtenir du financement en raison du coût élevé par kW installé et du faible taux de rendement.

Investissements récents des pays en développement dans des projets géothermiques¹⁰: La croissance récente des technologies géothermiques dans les pays en développement a été stimulée en grande partie par des investissements dans des applications à plus grande échelle.

En Asie, l'Indonésie est un investisseur principal dans les technologies géothermiques. Le pays a augmenté deux unités de 55 MW à la station d'Ulubelu en 2012. En outre, l'Indonésie a annoncé un programme d'investissement géothermique de 1 000 MW (avec un soutien international significatif) et un fonds d'emprunt pour atténuer les risques géothermiques. Pour l'avenir, l'Indonésie vise une augmentation de la capacité géothermique de 1,3 GW actuellement à 12,6 GW de capacité géothermique d'ici 2025. Cependant, un projet de 165 MW sur Bali a été annulé face à une résistance locale soutenue basée sur des préoccupations environnementales et religieuses.¹¹

En Amérique latine et dans les Caraïbes, le Nicaragua a achevé fin 2012 la deuxième phase de 36 MW du projet de San Jacinto-Tizate, après avoir achevé la première phase un an plus tôt. Le projet de 72 MW devrait répondre à l'équivalent de 17% des besoins en électricité du Nicaragua. Le Salvador a des plans à long terme pour une capacité géothermique additionnelle de 90 MW et le Chili a fait des offres d'exploration dans diverses régions.

10 REN 21 2013 Renewables Global Status Report (GSR) Géothermie chaleur et d'électricité, p.34, disponible sur : <http://www.ren21.net/ren21activities/globalstatusreport.aspx>.

11 Wasti Atmodjo, "Bali pour avoir une alimentation électrique adéquate: Ministre," Jakarta Post, 4 Septembre 2012.

Plusieurs îles des Caraïbes ont des plans géothermiques (y compris Nevis, la Dominique et le territoire de Montserrat au Royaume-Uni). La Dominique espère avoir une usine opérationnelle de 10 à 15 MW d'ici la fin de 2015.

Pendant ce temps, le Kenya est le plus grand producteur d'énergie géothermique en Afrique, avec une capacité installée totale de plus de 200 MW. Le Kenya est l'un des plus grands investisseurs dans les applications géothermiques à petite échelle. Il a récemment mis en service l'usine de tête de puits Eburru de 2,5 MW début 2012 et une unité de tête de puits modulaire de 5 MW a été mise en service dans une usine KenGen. En mai 2013, Ormat Technologies a annoncé l'exploitation commerciale d'une nouvelle unité de 36 MW au complexe Olkaria III. Le pays explore des partenariats public-privé pour prendre en charge le développement de 560 MW supplémentaires à Olkaria en quatre tranches de 140 MW.

L'intérêt grandit ailleurs en Afrique. Par exemple, le Rwanda a récemment engagé des fonds pour commencer le forage afin d'exploiter environ 700 MW de potentiel géothermique. Néanmoins, les coûts d'exploration élevés associés à l'énergie géothermique constituent un obstacle important pour les pays africains. La Banque mondiale aborde cette question et a établi un plan de développement géothermique mondial pour gérer le risque de forages exploratoires dans les pays en développement. En collaboration avec l'Islande, la Banque mondiale a également établi un «Pacte géothermique» pour soutenir les études d'exploration de surface et l'assistance technique pour les pays de la vallée du Rift en Afrique.

Une facilité d'atténuation des risques géothermiques de 66 millions USD (50 millions EUR) a été créée pour l'Afrique de l'Est (Éthiopie, Kenya, Rwanda, Tanzanie et Ouganda) pour soutenir des études de surface et des forages d'exploration. Huit projets ont été présélectionnés après le premier cycle de candidature fin 2012. Le soutien de la Facilité provient de la Commission de l'Union africaine, du Ministère allemand de la coopération économique et du développement (BMZ) et du Fonds fiduciaire UE-Afrique pour les infrastructures.

Etude de cas: Oserian Development Co. Ltd. (ODC) Ferme Géothermique de production de fleurs – Naivasha, Kenya

ODC a été créé en 1969 en tant que ferme de légumes de cinq hectares, et en 1982, élargi pour inclure des fleurs coupées. Utilisant un puits d'exploration géothermique KenGen près d'Olkaria et de Hells Gate au Kenya, ODC a fait une recherche sur l'utilisation de la géothermie, étudiant l'expérience de Davao, aux Philippines, où 60% des fleurs coupées du pays étaient produites à l'aide d'une centrale géothermique installé dans un parc national.

ODC a conclu un contrat pour une installation binaire de 1,8 MW en 2003. La centrale a été un succès et ODC a étendu son utilisation géothermique. En juin 2006, ODC a acheté un nouveau groupe électrogène à turbine géothermique de 2 MW. Il fonctionne depuis novembre 2007 en parallèle avec l'installation binaire existante.

Statut actuel. Aujourd'hui, Oserian a des serres sur 230 hectares et exporte 400 millions de tiges / an vers l'Europe (30% du marché européen des fleurs coupées) et constitue le plus grand système de serre géothermique au monde. Le système est utilisé pour la régulation de la température, la santé des roses et la production d'énergie pour le pompage de l'eau, l'éclairage, le contrôle de l'humidité et l'informatisation.

Source: GDA, Novembre 2008.

APPLICATIONS TECHNOLOGIQUES

UTILISATIONS DE LA CHALEUR DIRECTE

L'usage de la chaleur géothermique est l'une des méthodes d'utilisation de l'énergie géothermique les plus anciennes et les plus polyvalentes. Dans les systèmes modernes à usage direct, on accède à un courant constant d'eau chaude en forant un puits dans un réservoir géothermique. Une pompe est généralement utilisée pour fournir la chaleur et un système d'élimination dispose de l'eau refroidie sous terre ou sur la surface. Puisque la conversion n'a pas lieu, le processus est très efficace et peut être utilisé à la fois sur de petites et grandes échelles.

L'application agricole la plus commune du chauffage géothermique direct est dans **les serres** pour la culture des légumes et des fleurs en dehors des saisons et créer des climats de croissance appropriés. Les coûts d'exploitation, qui peuvent consommer 35% des coûts de l'usine, peuvent être considérablement réduits grâce à l'utilisation de l'énergie géothermique dans le chauffage des serres.

Les applications de serre géothermique peuvent également être utilisées conjointement avec **l'élevage**. Bien que l'élevage ne soit pas une application courante, les animaux peuvent grandement bénéficier de l'utilisation de fluides chauds pour assainir les abris et les déchets. Le chauffage d'une installation d'élevage ne nécessite que 50% de l'énergie requise pour une serre de la même taille, de sorte que l'utilisation en cascade peut être utilisée pour maximiser l'efficacité.

L'aquaculture, qui contrôle la reproduction des espèces aquatiques, nécessite un contrôle de température plus important que pour les espèces terrestres, normalement entre 20 et 30 ° C. L'énergie géothermique peut être utilisée pour contrôler la température des installations aquacoles afin de produire des poissons plus gros ou plus rapides et pour stimuler la production rapide d'algues. Pour que ce secteur puisse se développer davantage, il faudra différencier les espèces cultivées étant donné que les espèces existantes ont commencé à niveler la demande du marché.

Séchage des aliments. L'énergie géothermique peut être utilisée pour chauffer l'air nécessaire à la déshydratation des aliments. L'air est recyclé à travers un convertisseur air-eau où il est chauffé à 40 - 100 ° C. L'air chauffé passe au-dessus des plateaux ou des courroies où les produits bruts sont placés, ce qui facilite le processus de déshydratation. Normalement, l'énergie électrique est utilisée pour entraîner les ventilateurs et les pompes dans le séchage géothermique des aliments. Ce type de système peut être utilisé pour sécher des oignons, de l'ail, divers fruits et même des céréales, des algues et du bois.



*Ferme de fleurs de l'Oserian Development Company à Naivasha, Kenya.
Crédit Photo: Geothermal Development Associates.*

La chaleur géothermique est également viable pour **une purification et un dessalement fiable de l'eau**, car la température du sol à une certaine profondeur reste constante tout au long de l'année. Avec

des puits de plus de 100 mètres de profondeur, l'énergie géothermique peut être utilisée pour chauffer l'eau directement ou pour alimenter des unités d'osmose inverse afin d'obtenir une purification.

Enfin, un moyen simple d'exploiter l'énergie géothermique consiste à utiliser **des thermopompes géothermiques** qui peuvent accéder à la température constante de 10 ° C juste sous la surface du sol. En faisant circuler l'air ou le liquide antigel à travers les tuyaux souterrains, les pompes peuvent chauffer et refroidir les bâtiments toute l'année.

LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

L'énergie géothermique peut également être convertie en électricité en utilisant **de la vapeur sèche les centrales électriques, les centrales à cycle binaire et les centrales à vapeur instantanée**. Les petites centrales géothermiques sont généralement binaires ou flash (ou une combinaison des deux), et les générateurs de têtes de puits (voir ci-dessous) deviennent également une option viable à mesure que la demande pour les centrales géothermiques à petite échelle augmente.

Chaque approche utilise le même processus fondamental : extraire l'eau chaude et la vapeur d'une source souterraine, l'utiliser pour l'énergie et renvoyer l'eau chaude utilisée à la source de chaleur. Les détails sur les fonctionnalités et les différences entre ces projets peuvent être trouvés sur le site web de l'Union of Concerned Scientists pour [l'énergie géothermique](#).

Les unités de production d'énergie à la tête de puits peuvent être des options utiles pour les applications à petite échelle dans des endroits éloignés, car elles sont portables et réutilisables, et les coûts d'investissement en capital sont modestes. Ils peuvent être utilisés avec des puits qui génèrent jusqu'à 15 MW et, grâce à la conception modulaire de la plupart des têtes de puits, ils peuvent fonctionner hors de portée des plus grandes usines.

Un exemple d'une telle tête de puits est **la centrale électrique géothermique pilote de la tête de puits d'Eburru** au Kenya. Il a été commandé par Geothermal Development Associates basé aux États-Unis en 2009 et est situé sur le champ géothermique d'Eburru au Kenya (adjacent au volcan Ol Doinyo Eburru). Il utilise un groupe électrogène à turbine à vapeur de 2,5 MW avec des systèmes auxiliaires et des commandes.

Les systèmes géothermiques améliorés (EGS) sont une nouvelle technologie mise au point pour capturer la chaleur dans les formations rocheuses sèches situées entre 4 et 10 km sous la surface. Les impacts environnementaux de ces systèmes, même s'ils sont potentiellement importants, ne sont pas pris en compte dans cette directive, car ils sont encore à l'étape des essais et de la commercialisation limités. Cependant, des progrès significatifs avec la technologie sont décrits dans le rapport [REN 21: Renewables 2013 Global Status Report](#).

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

L'énergie géothermique a le potentiel de fournir une alimentation électrique continue à large base avec un impact minimal sur l'environnement. Cependant, comme pour la plupart des projets d'infrastructure, il y a des impacts environnementaux importants qui doivent être compris. Souvent, les ressources géothermiques sont situées dans des zones éloignées et écologiquement sensibles, ce qui peut nuire aux espèces et / ou aux habitats vulnérables. Néanmoins, par rapport aux installations de production de

combustibles fossiles, les émissions de GHG (par exemple le dioxyde de carbone et le méthane) provenant des centrales géothermiques sont faibles. Voir Fridleifsson (2001) pour une discussion détaillée des réductions d'émissions de GHG provenant des centrales géothermiques.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des principaux impacts environnementaux associés aux projets géothermiques. Pour chaque impact environnemental mentionné, les mesures d'atténuation et de surveillance recommandées sont fournies. Pour chaque mesure d'atténuation et de surveillance, la phase au cours de laquelle les mesures recommandées doivent être prises est indiquée par la clé suivante : Planification et conception (P&D), Construction (C), Exploitation et maintenance (O&M) et Démantèlement (DCM).

Les impacts environnementaux inclus, les mesures d'atténuation et les mesures de surveillance sont destinés à servir de guide. Bien que ces listes soient censées être exhaustives, elles ne peuvent pas être considérées comme étant complètes, et il faut toujours déterminer les impacts potentiels au niveau du projet avant la mise en œuvre afin d'assurer la conception appropriée du projet.

De plus, le tableau ci-dessous ne devrait pas être utilisé à la place d'un plan d'atténuation et de surveillance de l'environnement propre au projet (EMMP). Un modèle pour les EMMP spécifiques à un projet est fourni dans l'ANNEXE I du présent document.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Qualité de l'air. Émissions de GHG (dioxyde de carbone, méthane), de sulfure d'hydrogène, d'ammoniac et de traces d'autres gaz qui peuvent polluer l'air et nuire à la santé humaine. Le principal polluant est le sulfure d'hydrogène à cause de son odeur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des systèmes en circuit fermé qui empêchent les émissions gazeuses ou les technologies de capture des émissions. (P&D, C) • Utiliser un équipement de protection individuelle (PPE) pendant les activités de forage. (C, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des analyses de routine (par exemple mensuelles) de la qualité de l'air extérieur et intérieur et enquêter sur les impacts sur la santé respiratoire humaine, y compris les émissions d'odeur par les membres de la communauté et les travailleurs de l'établissement. (C, O&M) • Prendre des mesures périodiques des émissions de GHG pendant le cycle de vie pendant la production et le traitement des composants du système géothermique, le transport et l'utilisation finale du carburant. (C,

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Utilisation des terres. Selon la taille du système, l'énergie géothermique peut utiliser de vastes étendues de terres. Le réservoir de ressources, la capacité énergétique, le système de conversion d'énergie, le système de refroidissement, l'agencement des puits et des systèmes de tuyauterie, ainsi que les empreintes des sous-stations et des bâtiments auxiliaires informent l'échelle du projet. Les terrains dans la zone désignée peuvent être affectés de manière significative par le défrichage, la construction et l'abandon des systèmes qui ont atteint la fin de leur vie utile. Si un puits doit être foré pour exploiter les ressources géothermiques, il y a une empreinte associée importante. Comme les ressources géothermiques sont souvent situées dans des zones écologiques éloignées et sensibles, les changements de terres peuvent causer la perte d'habitat, nuire aux espèces et/ou habitats sensibles et interférer avec les utilisations des terres, le patrimoine culturel et l'esthétique existants.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Impacts de forage</u> : Modifie la morphologie de la surface et peut potentiellement endommager les plantes et la faune locales. Les éruptions peuvent polluer les eaux de surface. • <u>Infrastructures de pipeline</u> : Potentiellement, elles ont une incidence sur les plantes et la faune locale, le sol, les plans d'eau, les terres humides et l'esthétique visuelle (vues panoramiques). 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporer les évaluations préalables au développement dans les sollicitations et les prix et les mener avant la mise en œuvre afin de s'assurer que les zones biologiquement et culturellement sensibles sont évitées. (P&D) • Établir et suivre un protocole de replantation de la végétation ou de repeuplement des espèces affectées dans les zones touchées par l'introduction d'installations géothermiques. (C, O&M, DCM, P&D) • Les experts devraient effectuer des évaluations préalables au développement afin de minimiser l'érosion. (P&D, C) • Les gestionnaires de projet devraient tenir compte de la perte d'habitat, des précipitations et du drainage lors de la construction de systèmes géothermiques, en particulier là où la biodiversité ou les espèces menacées ou en voie de disparition pourraient être affectées. (P & D) 	<p>O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veiller à ce que l'atténuation des zones sensibles soit incorporée dans les visites de sites annuelles / semestrielles. (P&D, C, O&M, DCM) • Surveiller et évaluer les conditions du sol chaque année pendant la durée du projet. (P&D, C, O&M, DCM)
<p>Bruit. Le bruit est généré pendant l'extraction de la vapeur, la décharge du conduit d'évacuation et la production d'électricité à partir des gros ventilateurs, de l'éjecteur de vapeur et des turbines.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pendant la planification, assurez-vous que l'emplacement du système géothermique minimise les impacts sonores sur les communautés locales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mener des enquêtes auprès des parties prenantes et des communautés pendant la préparation du concept et les tests de bruit de simulation.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
	<p>(P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si nécessaire, utilisez des silencieux et d'autres moyens d'insonorisation pour atténuer les effets. (P&D, O&M) 	<p>(P&D, O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mener des enquêtes biennuelles auprès des parties prenantes et des communautés pour évaluer la satisfaction à l'égard du projet, y compris les impacts du bruit. (O&M) • Suivez les plaintes de la communauté concernant le bruit. (O&M)
<p>Ressources en eau. La température de l'eau de décharge peut induire des changements de phase écologiques dans les plans d'eau récepteurs ; Si les eaux souterraines peu profondes sont situées au-dessus des réservoirs géothermiques, les chutes de pression dans le réservoir pourraient créer un écoulement froid vers le bas qui pourrait épuiser les eaux souterraines fraîches. Les flux de minéraux dissous qui résultent du forage de puits peuvent polluer les eaux de surface et souterraines.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Traiter le rejet des fluides géothermiques usés contenant du bore, du fluor ou de l'arsenic avant leur rejet. (O&M) • Refroidir l'eau de décharge dans les étangs ou les réservoirs avant de les libérer. (O&M) • Réinjecter les eaux usées géothermiques dans la source. (O&M) • Utiliser des cuvelages de puits pour créer une barrière entre l'intérieur du puits et la terre adjacente. (P&D, C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Surveiller la hauteur de la nappe phréatique, la disponibilité de l'eau de surface et sa variabilité saisonnière et sa qualité sur une base périodique (par exemple deux fois par an). (P&D, O&M) • Surveiller visuellement les puits pendant le forage et l'exploitation pour la détection précoce et la gestion des fuites. (C, O&M)
<p>Santé et sécurité. La chaleur associée aux sites géothermiques et à la production de chaleur et d'électricité peut constituer une menace pour les travailleurs des installations, les agriculteurs, les populations rurales et les enfants. La construction standard de l'usine et les risques O & M doivent également être traités. Le</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concevoir, former et appliquer des protocoles de sécurité pour la construction, l'exploitation et la maintenance de l'usine. (P&D, O&M) • Utilisez une clôture en fil de 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des tests avant et après la formation des employés dans les protocoles de sécurité pour les opérations géothermiques (P&D, C, O&M).

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>vandalisme et le vol d'équipement peuvent survenir.</p>	<p>fer pour protéger l'équipement contre le vol / le vandalisme et pour prévenir les blessures subies par les membres de la communauté. Pour les applications géothermiques moins sensibles, pensez aux clôtures naturelles. (C)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Garantir l'utilisation de gants, de bottes et de casques de protection appropriés pour les employés et les visiteurs sur place(C, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tenir des registres d'inspection mensuels systématiques pour suivre l'utilisation des EPI et des accidents sur le site. (C, O&M)

BIOÉNERGIE

Lorsqu'elle est produite de manière responsable, la biomasse peut fournir une énergie qui réduit les émissions de carbone en remplaçant les combustibles fossiles. Cependant, dans de nombreux cas, la forêt naturelle est défrichée de manière non-durable pour fournir des cultures de bioénergie et laisse un site qui ne peut pas être régénéré.

A PERÇU

La bioénergie, ou énergie à base de biomasse, est l'énergie dérivée d'organismes vivants ou antérieurement vivants. Comme étant directement accessible et à faible coût, la biomasse représente environ un tiers de toute l'énergie utilisée dans les pays en développement, avec plus de deux milliards de personnes dans le monde utilisant du biocombustible à partir de bois et de matières végétales) pour la cuisson et le chauffage. Dans de nombreux pays en développement, l'utilisation de la bioénergie répond à 80 - 90 pour cent des besoins énergétiques dans les zones rurales.



Trois femmes ramassent du bois. Crédit photo : Michael Benanav, Global Alliance for Clean Cookstoves.

atténuer les impacts du changement climatique, et fournir un accès à l'énergie moderne, de mauvaises stratégies avec des rendements à court terme peuvent créer perte de biodiversité, déforestation et pressions supplémentaires sur les ressources en eau.

Cette section offre des conseils sur la mise en œuvre de projets de bioénergie à petite échelle écologiquement durable. Les impacts associés aux applications plus larges de la bioénergie, comme la vapeur ou les turbines à gaz utilisant la biomasse, ne sont pas explicitement discutées, bien que certains des risques environnementaux associés se chevauchent avec ceux couverts.

Souvent, l'utilisation non durable de la bioénergie contribue à la dégradation substantielle de l'environnement et à la raréfaction des ressources, entraînant des impacts sociaux et économiques négatifs importants. Alors que des stratégies saines et durables d'utilisation de la bioénergie peuvent promouvoir le développement économique rural,

LES TENDANCES

À mesure que les populations augmentent, le nombre de personnes tributaires de la bioénergie a également augmenté - une tendance qui devrait se poursuivre. L'Agence internationale de l'énergie (IEA) prévoit que 100 millions de personnes de plus utiliseront des biocombustibles traditionnels en 2030 qu'aujourd'hui. Dans de nombreux cas, même lorsque l'électricité est présente (principalement dans les zones urbaines), les combustibles solides tels que le charbon de bois sont encore utilisés pour des raisons économiques et culturelles.

Malgré le fait que le nombre d'utilisateurs de combustibles traditionnels devrait augmenter, les technologies modernes de la bioénergie ont été utilisées dans les pays en développement pendant des décennies, avec des progrès technologiques continus.

TENDANCES DE LA BIOMASSE SOLIDE

La biomasse solide est la quatrième plus grande source d'énergie au monde, traînant derrière le pétrole, le charbon et le gaz naturel, et représentant 10% de l'approvisionnement énergétique mondial.

L'énergie de la biomasse traditionnelle et moderne est principalement utilisée pour le chauffage. L'utilisation moderne de la biomasse représente 3 à 4% de la demande mondiale en énergie, alors que l'utilisation traditionnelle de la biomasse représente entre 6 et 7%.

Les excédents régionaux et les pénuries de biomasse ont favorisé le développement d'un important commerce de biomasse solide (et liquide); en 2012, environ 8,2 millions de tonnes de pellets ont été commercialisées à l'international. D'autres matières premières de biocarburants faisant l'objet d'échanges internationaux comprennent le bois de feu, le charbon de bois, les briquettes et les résidus agricoles.

SAVEZ-VOUS QUE...

La production de charbon de bois est une industrie de 10 milliards de dollars en Afrique subsaharienne seulement et provoque une destruction environnementale importante des forêts abattues pour répondre à la demande croissante.

Des progrès ont été accomplis dans la modernisation des techniques de chauffage et de cuisson en milieu rural, ainsi que dans l'éducation des populations rurales aux solutions modernes de cuisine et d'énergie. Le nombre de pays en développement qui s'éloignent des cuisinières et des combustibles traditionnels augmente, mais 76% de la population de l'Afrique subsaharienne continue de recourir aux technologies traditionnelles de la biomasse. Ces chiffres sont nettement inférieurs en Asie et en Amérique latine.

Lancé en 2012, le programme national des foyers de cuissons-« National Cookstoves Program de l'Inde a pour objectif de prévenir 17% des décès prématurés et des handicaps liés aux

émissions traditionnelles de biomasse. En 2013 au Bangladesh, la Banque mondiale a lancé un programme visant à fournir aux ménages ruraux un million de foyers améliorés et 20 000 unités de

SAVEZ-VOUS QUE...

L'un des principaux obstacles au succès généralisé de la production de sorgho sucré pour le bioéthanol est la courte durée de conservation des rendements après récolte.

En tant que culture relativement résistante à la sécheresse, le sorgho pourrait prospérer dans de nombreuses parties du monde (en particulier en Afrique subsaharienne), mais les limitations sur les infrastructures fiables telles que les routes et les transports, le stockage après récolte et le raffinage tempèrent actuellement ses perspectives.

biogaz, renforçant ainsi l'engagement déjà fort du Bangladesh en faveur du biogaz, avec plus de 30 000 unités dans le pays. En Amérique latine, le Mexique et le Pérou ont d'importants programmes en cours pour distribuer des foyers améliorés, qui visent à fournir chacun un million d'unités. Plusieurs pays d'Amérique centrale et des Caraïbes, notamment le Guatemala, le Honduras et le Nicaragua, utilisent les marchés du carbone pour soutenir les projets de foyers de cuisson.

TENDANCES DU BIOGAZ

Les digesteurs de biogaz ont été largement introduits dans les pays en développement dans les années 1970 et 1980, lorsque les prix élevés de l'énergie ont stimulé la recherche sur les énergies alternatives. La dispersion du biogaz a ralenti à la fin des années 1980, lorsque son application s'est avérée plus utile dans le traitement des déchets industriels et urbains, mais depuis 2000, le nombre d'usines a encore augmenté de manière significative.

La production de biogaz a été la plus réussie en Asie, en particulier en Chine et en Inde, où les campagnes gouvernementales ont popularisé la technologie. La Chine compte 27 millions de digesteurs de biogaz et l'Inde en compte 4 millions. Il s'agit principalement de petits bioréacteurs ruraux alimentés par du fumier animal. Le Népal et le Vietnam ont connu un succès considérable avec le biogaz domestique, avec environ 300 000 unités installées chacune au cours des 25 dernières années, 95% étant encore opérationnelles. L'âge de l'installation, l'entretien et l'investissement continu se sont avérés être des facteurs importants dans le succès du digesteur. Alors que de nombreux digesteurs ont été installés en Asie, environ la moitié ne sont plus fonctionnels.

En Afrique, le Programme de partenariat pour le biogaz en Afrique (ABPP) a aidé à reproduire les résultats asiatiques. L'ABPP est un partenariat entre l'organisation Hivos et l'Organisation néerlandaise de développement pour soutenir les programmes nationaux de biogaz en Éthiopie, au Sénégal, au Kenya, en Tanzanie, en Ouganda et au Burkina Faso. Le programme vise à utiliser son financement d'environ 42 millions de dollars pour construire 70 000 digesteurs de biogaz. Le programme national de biogaz du Kenya exploite le potentiel de 200 000 usines de production de biogaz au Kenya, qui pourraient fournir de l'énergie à un million de personnes. La phase de démarrage vise à construire 12 000 usines de production de biogaz d'ici 2014; 3 400 ont été construites en 2010.

Le développement du biogaz devrait s'accélérer, mais il est entravé par des facteurs tels que le manque d'accès aux matériaux de construction ; l'absence d'institutions pour promouvoir et fournir une formation technique et une sensibilisation ; trop peu d'eau ; les climats trop froids ou trop secs ; quantités insuffisantes de déchets animaux ; coûts élevés de construction et d'exploitation et d'entretien ; disponibilité de main-d'œuvre peu qualifiée ; et le désintérêt du gouvernement.

TENDANCES DES BIOCARBURANTS LIQUIDES

La production et l'investissement actuels de biocarburants souffrent de tensions continues associées à la capacité de mettre en œuvre des projets sans nuire aux émissions de GES, en concurrence directe avec la production alimentaire locale et les prix, ou en limitant les bénéfices pour les investisseurs et les parties prenantes. Les petites exploitations soutiennent généralement une seule famille avec un mélange

DIRECTIVE ENVIRONNEMENTALE SECTORIELLE :
ÉNERGIE À PETITE ÉCHELLE

SAVEZ-VOUS QUE...

1 à 2 vaches, 5 à 8 porcs ou 4 humains adultes sont nécessaires pour fournir un digesteur de biogaz à un seul ménage avec assez de matière première pour produire de l'énergie de cuisson pendant une journée.

de cultures commerciales et d'agriculture de subsistance. Néanmoins, les efforts de production de biocarburants sont répandus dans le monde entier, allant de l'huile de palme, de la canne à sucre et du jatropha en Asie ; le sorgho et le manioc en Afrique subsaharienne ; et l'huile de canne à sucre et de soja en Amérique latine.

Dans l'ensemble, les biocarburants liquides représentent environ 3,4% des carburants utilisés dans le transport routier au niveau mondial - pourcentage le plus élevé de toute source d'énergie renouvelable - mais la croissance des biocarburants liquides dans les transports a eu des résultats mitigés. De 2007 à 2012, l'éthanol a augmenté de 11 pour cent et le biodiesel de 17 pour cent, mais la production de biodiesel a augmenté à un rythme beaucoup plus lent que par le passé, et la production d'éthanol a diminué depuis 2010.

SOURCES ET UTILISATIONS DE BIOMASSE

Les sources de biomasse peuvent être classées dans les catégories suivantes: 1) les résidus agricoles et forestiers (y compris les sous-produits alimentaires, les fibres et la transformation du bois), 2) les cultures énergétiques et 3) les déchets organiques. La bioénergie peut être produite en brûlant de la biomasse solide pour produire de la chaleur ou de l'électricité ou encore sous forme de combustibles liquides ou gazeux utilisés dans les fourneaux, moteurs, générateurs et autres équipements de cuisson, d'éclairage, de chauffage, d'électricité ou de transport. Chaque source particulière de biomasse est plus ou moins adaptée à différents processus de conversion et utilisations finales. Le biogaz et les biocarburants liquides sont expliqués plus en détail dans cette section.

BIOGAZ

Le biogaz est un produit gazeux de la décomposition de la matière organique sans oxygène (un processus connu sous le nom de digestion anaérobie). Il est composé de 50 à 80% de méthane et de 20 à 50% de dioxyde de carbone. Les flux de déchets organiques sont la source la plus courante de biogaz utilisé pour l'énergie et comprennent le fumier de bétail, les déchets humains, les déchets alimentaires et les effluents des usines, entre autres. Le fumier animal, en raison de sa teneur élevée en humidité, est efficacement converti en biogaz, les bouses de bétail étant particulièrement utiles parce que les ruminants ont des bactéries productrices de méthane dans leur estomac. Les déchets humains peuvent également être utilisés, mais ils sont plus efficaces lorsqu'ils sont combinés avec des substrats agricoles car la combinaison augmente les rendements en biogaz. En Europe, les cultures énergétiques cultivées gagnent en popularité car les rendements de biogaz (en particulier ceux provenant des céréales) se révèlent similaires à ceux des déchets animaux. Les cultures énergétiques potentielles pour le biogaz dans les pays en développement, telles que la paille de riz et les balles de paille de riz, offrent des rendements en biogaz plus faibles.

Les technologies du biogaz sont considérées comme une solution potentielle pour le traitement des déchets et la production d'énergie propre. Le processus de production de biogaz génère également des solides qui peuvent être utilisés comme engrais organique, entre autres utilisations. Le biogaz lui-même peut être utilisé comme énergie pour la cuisson, le chauffage et le refroidissement, et l'éclairage. Cette directive couvre la production de biogaz à différents niveaux, de la production de biogaz domestique à partir de toilettes d'élevage ou de compostage, à la production agricole et communautaire de bétail, ainsi qu'au niveau de la gestion municipale des déchets solides et liquides.

BIOCARBURANTS LIQUIDES

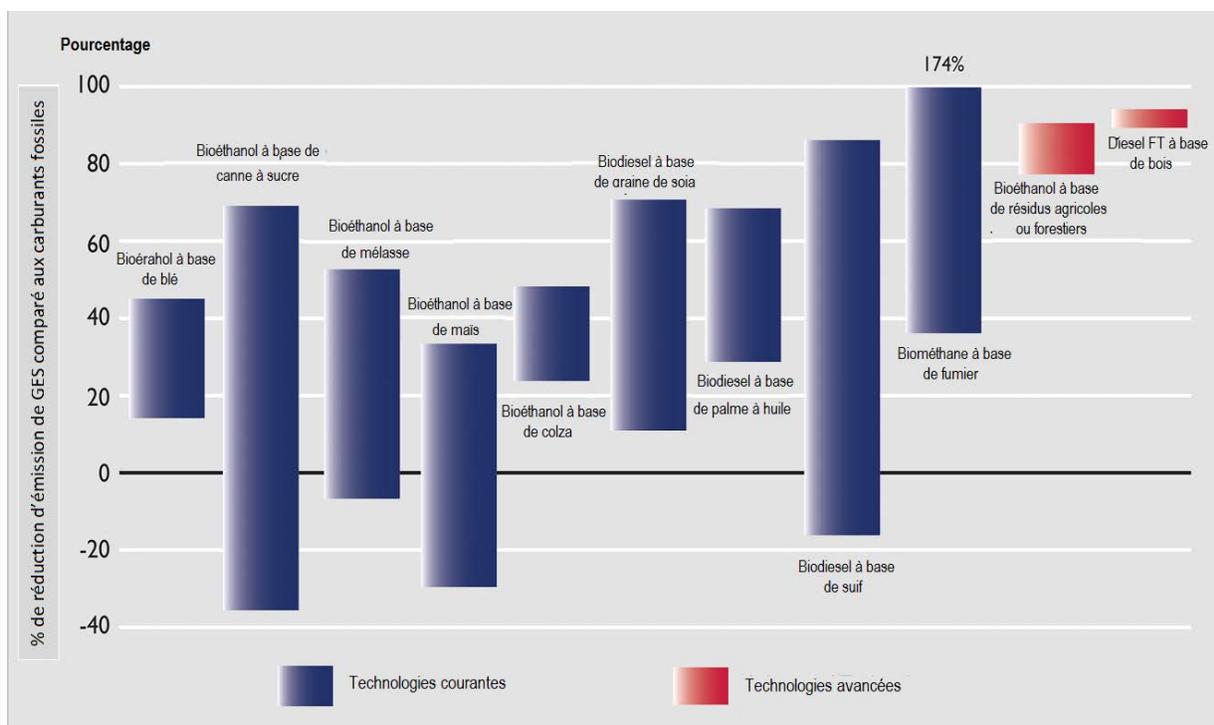
Les biocarburants liquides sont constitués **de bioéthanol et de biodiesel**, qui peuvent être utilisés comme solutions de rechange à l'essence traditionnelle et au diesel, respectivement. Le bioéthanol est généralement produit par la fermentation de déchets biologiques riches en sucre ou en amidon, les sources les plus courantes étant la canne à sucre et le maïs. Le biodiesel est produit à partir d'huiles présentes dans les plantes, les légumes ou les graines (par exemple le manioc, le colza et l'huile de palme), utilisées dans les huiles de cuisson, ou même dans les graisses animales.

Succès de l'usine de biogaz au Rwanda

Alors que les usines de biogaz à grande échelle sont rares dans les pays en développement, un exemple prometteur est celui du Rwanda, où cinq prisons utilisent des biodigesteurs pour alimenter plus de la moitié de l'énergie des cuisines.

Les biocarburants ont gagné en popularité en raison de leur potentiel de remplacement des carburants à base de pétrole et des répercussions correspondantes sur les GES, la sécurité énergétique et la qualité de l'air. Les biocarburants peuvent être utilisés pour le transport, la chaleur et l'énergie. Ils peuvent être utilisés dans les véhicules, les machines et les groupes électrogènes diesels modifiés.

Les avantages environnementaux et socio-économiques des biocarburants ont récemment été remis en question en reconnaissance du fait que les impacts nets des biocarburants tout au long du cycle de vie de leur production et de leur utilisation peuvent ne pas fournir un bénéfice net positif. Une augmentation ou une diminution nette des GHG provenant des biocarburants par rapport aux combustibles fossiles dépend de divers facteurs, tels que la source du biocarburant, les terres utilisées pour la production agricole, la méthodologie agricole, les technologies de récolte utilisées et le processus d'affinement. Le graphique suivant illustre cette variabilité, la production de bioéthanol à partir de maïs et de canne à sucre et la production de biodiesel à partir de suif servant d'exemples de production de biocarburants pouvant **générer plus** de GHG que les combustibles fossiles.



Source: Données d'IEA, 2011; graphique © FAO, 2013

Les projets de biocarburants liquides vont des investissements à grande échelle à l'achat de terres et à la production de cultures à partir desquelles les biocarburants peuvent être générés pour de petits producteurs. Des exemples de développement de biocarburants à grande échelle comprennent une grande partie de la production d'éthanol à base de canne à sucre au Brésil, de l'éthanol à base de maïs aux États-Unis et des plantations d'huile de palme en Malaisie et en Indonésie. En revanche, les programmes de sous-traitance engagent généralement les petits agriculteurs directement et ont souvent été cités comme des projets «pro-pauvres» relatifs aux projets de biocarburants à plus grande échelle découlant de la part relativement accrue des bénéfices perçus par les agriculteurs. Une grande partie de la production actuelle de jatropha (voir ci-dessous dans l'encadré «Jatropha: les risques des biocarburants de prochaine génération»), par exemple, se produit au Ghana, en Tanzanie et au Mozambique, entre autres pays.

JATROPHA: Les risques des biocarburants de prochaine génération

Les systèmes de génération de biodiesel basés sur l'usine de jatropha curcas - une plante originaire d'Amérique centrale, bien qu'elle prospère dans les milieux tropicaux et subtropicaux - ont vu une courbe ascendante d'investissements lourds au milieu des années 2000. Cet investissement a été alimenté par la compréhension que 1) les graines de jatropha contiennent un biodiesel naturel pur, qui peut fonctionner dans les moteurs diesel directement à partir de la plante (avec un traitement peu coûteux nécessaire pour éliminer les éléments nuisibles aux moteurs à long terme); 2) le jatropha peut pousser sur des terres marginales et ainsi ne pas entrer en compétition pour des terres arables rares; et 3) le jatropha, en tant que plante toxique, offre des avantages potentiels en termes de durabilité en tant que culture non alimentaire.

Cependant, peu d'investissements privés et gouvernementaux dans le jatropha à ce jour ont donné jusqu'ici un succès commercial. La crise financière de 2008 a vu de nombreux investisseurs fuir des entreprises spéculatives telles que la production de biodiesel à partir de jatropha. En outre, bien que le jatropha pousse sur des terres marginales, les rendements des cultures sur ces terres se sont avérés beaucoup plus faibles que dans des conditions plus favorables, niant ainsi la notion que la production de jatropha peut réussir sans concurrencer les terres arables rares. Comme avec de nombreux biocarburants de la prochaine génération, le potentiel à long terme du jatropha dépend probablement de l'efficacité de la recherche actuelle qui développe des variétés de semences améliorées pour produire des rendements plus fiables et plus abondants.

En tant que culture non alimentaire, le jatropha est traditionnellement utilisé comme barrière naturelle, ou pour les savons, les engrais et les médicaments. Ce n'est que récemment qu'une telle recherche et des efforts pour améliorer le rendement agricole ont été investis dans le jatropha. A ce stade, il est trop tôt pour dire si le jatropha aura un succès commercial, ou s'il s'avérera le plus efficace dans des essais isolés comme ceux du Mozambique et de la Tanzanie.

PROCESSUS DE PRODUCTION ET TECHNOLOGIES

L'énergie de la biomasse est considérée comme «modernisée» lorsqu'elle est produite et convertie en des formes propres et pratiques telles que les gaz, les liquides ou l'électricité (par opposition à la chaleur pour la cuisson ou la chaleur). Quelques procédés et technologies de production de bioénergie sont décrits ci-dessous.

GAZÉIFICATION

La biomasse solide peut être convertie en gaz par des procédés à haute température (thermochimique) et soit brûlée directement pour la cuisson ou l'apport de chaleur, soit utilisée dans des dispositifs de conversion secondaires comme les moteurs à combustion pour produire de l'électricité. Le dispositif de gazéification brûle essentiellement la biomasse avec juste assez d'air pour convertir la masse en un combustible gazeux, mais sans suffisamment d'air pour une combustion complète. Le gaz «producteur» qui en résulte n'a que 10 à 15% de la valeur calorifique du gaz naturel, mais nécessite beaucoup moins de biomasse pour générer la même quantité d'énergie que le brûlage direct. Si les gazéificateurs sont étroitement couplés aux brûleurs à gaz, le gaz de production peut être utilisé dans des applications de chauffage direct. Le gaz producteur a été largement utilisé dans la cuisine domestique, mais nécessite un

système de stockage, de la tuyauterie et des brûleurs. Dans la province du Shandong, en Chine, des générateurs de gaz producteur ont été installés pour convertir les tiges de maïs en gaz de cuisson pour alimenter les foyers de cuisson. La moitié seulement de la tige de maïs est nécessaire lorsqu'elle est utilisée pour produire du gaz plutôt que de la brûler directement sous forme de biomasse. Le gaz producteur peut également être utilisé pour alimenter des moteurs diesel (à allumage par compression) ou à essence (à allumage par étincelle) pour fournir de l'électricité pour le pompage, la meunerie, l'éclairage, les communications, la réfrigération et d'autres utilisations.

DIGESTION ANAÉROBIQUE

La matière organique, comme les excréments de bétail, les restes d'abattoirs, les effluents des installations agroalimentaires et les résidus de culture, peut être transformée en biogaz par digestion anaérobie, qui convertit la matière (habituellement sous forme liquide) en méthane et en dioxyde de carbone en utilisant des bactéries. Le biogaz peut ensuite être brûlé directement pour la cuisson ou le chauffage, ou utilisé dans des dispositifs de conversion secondaires pour produire de l'électricité. La production efficace

d'électricité nécessite des tuyaux et des brûleurs à biogaz aux points de cuisson, un moteur à étincelles ou à compression, et des filtres pour éliminer la vapeur d'eau et le dioxyde de soufre dans le biogaz.

Dans le milieu agricole des pays en développement, les digesteurs anaérobies à petite échelle utilisent généralement un procédé semi-discontinu où une quantité fixe de fumier et d'eau est introduite quotidiennement dans le digesteur, par opposition à un processus continu où la charge est constamment ajoutée. Il y a de l'espace dans le digesteur pour le stockage du gaz, et les boues liquides sortent du digesteur dans un réservoir de stockage et peuvent être appliquées directement aux champs comme engrais. De plus, ces boues peuvent être asséchées dans les zones de pénurie d'eau ou de forte demande en eau, comme les fermes d'élevage, pour produire de l'eau supplémentaire qui est ensuite utilisée pour diluer les excréments frais pour une production supplémentaire de biogaz.

Plus de détails sur les différents types de digesteurs anaérobies peuvent être trouvés dans " Design of Small Scale Anaerobic Digesters for Application in Rural Developing Countries " (Rowse, Laurel, 2011).

Le biogaz provenant des effluents des moulins à huile de palme (POME) en Malaisie

En 2011, l'industrie de l'huile de palme représentait le pourcentage le plus élevé de production de pétrole et de matières grasses dans le monde. La Malaisie est le premier producteur et exportateur d'huile de palme avec 46% des exportations mondiales et 37% de la production mondiale en 2011. La mauvaise gestion des eaux usées produites par les activités de concentration, connue sous le nom d'effluent d'huile de palme (POME), le méthane, contribuant aux émissions de GHG et polluant également les cours d'eau dans lesquels il est déversé. Cependant, POME a une haute teneur en matière organique qui le rend approprié pour une utilisation dans la digestion anaérobie.

En 2011, la Malaisie a produit environ 57 millions de tonnes de POME qui, si elles étaient converties en biogaz par digestion anaérobie, pourraient alimenter 700 000 ménages ou compenser l'utilisation de biomasse et de diesel pendant la production d'huile de palme. En septembre 2012, 36 projets de récupération de biogaz étaient en cours dans l'industrie de l'huile de palme en Malaisie (enregistrés dans le cadre du programme du Mécanisme de développement propre du pays dans le cadre du protocole de Kyoto).

La digestion anaérobie peut être employée à divers niveaux de production, d'un seul ménage à un niveau de ferme / communauté, et même à la gestion des déchets municipaux. Il est important de prendre en compte les différents impacts environnementaux des projets à chacun de ces niveaux.

Production domestique au niveau des ménages. Le biogaz est principalement utilisé pour la cuisine et le chauffage et les restes de lisier sont utilisés comme engrais. Les maisons dotées de systèmes de biogaz émettent beaucoup moins d'émissions que les ménages sans système, même lorsque les systèmes de biogaz ont des fuites. Un rapport de Rajendran et al. montre qu'une installation de biogaz familiale de trois mètres cubes en Inde, alimentée par quatre vaches, avait un potentiel d'atténuation du réchauffement climatique de 9,7 tonnes d'équivalent dioxyde de carbone par an. Alors que les systèmes de biogaz émettent encore du dioxyde de carbone et du méthane (exacerbé par les fuites), brûler du méthane par biogaz plutôt que de le laisser s'échapper dans l'environnement avec une mauvaise gestion du fumier réduit le potentiel des GHG rejetés.

Gestion des déchets municipaux. Les déchets solides municipaux (MSW) et les eaux usées (ou les boues d'épuration) sont des déchets collectés à partir de sources domestiques, commerciales et industrielles (principalement dans les zones urbaines) qui peuvent être convertis en combustible par plusieurs voies, y compris la digestion anaérobie. Le prétraitement des déchets pourrait être nécessaire pour séparer les déchets organiques des déchets inorganiques, pour réduire la taille des déchets, ou pour convertir les MSW en lisier pour utilisation dans certains digesteurs. **La quantité d'énergie nécessaire au prétraitement doit être prise en compte dans la conception du projet.** L'utilisation de la digestion anaérobie pour la gestion des MSW à grande échelle n'est généralement pas possible en raison de la nécessité de trier les déchets pendant le prétraitement. Cependant, lorsque cela est possible, ce processus peut réduire considérablement les effets environnementaux négatifs associés à la biodégradation des déchets organiques dans les sites d'enfouissement et l'incinération, ainsi que d'éviter l'utilisation d'engrais conventionnels en utilisant des boues biologiques. La gazéification peut également être utilisée pour convertir des MSW en carburant, et implique la combustion partielle des MSW à haute température dans un environnement contrôlé.

L'incinération des déchets solides municipaux nécessite une combustion contrôlée pour oxyder la quasi-totalité de la matière organique contenue dans les déchets en vapeur pour produire de l'énergie. Il réduit le volume des déchets d'environ 90% et le poids d'environ 70%. Les coûts d'investissement et d'exploitation des incinérateurs peuvent être un facteur limitant dans les pays en développement. De plus, l'incinération entraîne généralement des impacts environnementaux plus négatifs que la digestion anaérobie. Les cendres d'incinérateurs qui en résultent (environ 10% des déchets d'origine) sont souvent déversées dans des décharges et les incinérateurs dont la chaleur est incontrôlée dans les zones de faible application des politiques peuvent créer une pollution atmosphérique importante. Dans les zones développées où cette technologie est la plus répandue, les laveurs et les filtres peuvent être utilisés pour réduire la pollution et les cendres.

La production de biogaz à partir de déchets municipaux nécessite la collecte et le transport des déchets vers un emplacement central, et éventuellement le transport secondaire vers une usine de biogaz. Les impacts environnementaux du transport et de la consommation de carburant dépendent fortement des variables du projet, mais devraient néanmoins être pris en compte lors de la planification de projets de déchets municipaux à petite échelle. Voir la directive environnementale de l'USAID sur les déchets

solides ([USAID Sector Environmental Guideline on Solid Waste](#)) pour plus d'informations sur la gestion des déchets solides.

Ferme de production de biogaz à petite échelle. Les petites exploitations peuvent bénéficier de la production de biogaz grâce à de meilleures pratiques de gestion du fumier, à de meilleures perspectives environnementales et à un besoin réduit d'achat ou de collecte d'énergie (par exemple, gaz propane et bois de chauffage). Comme nous l'avons vu précédemment, les agriculteurs profitent en outre du fait que les boues produites par le processus de digestion anaérobie peuvent être utilisées comme engrais organique, ce qui réduit les coûts d'engrais. Les Directives environnementales sectorielles sur l'agriculture de l'USAID ([USAID Sector Environmental Guideline on Agriculture](#)) fournissent des informations supplémentaires sur les impacts environnementaux associés à l'utilisation d'engrais dans l'agriculture.

Le fonctionnement efficace des systèmes de biogaz dans les petites exploitations exige un accès suffisant au fumier animal pour permettre la collecte quotidienne comme matière première. Bien que la collecte de fumier puisse s'avérer difficile, en particulier lorsque le bétail n'est pas détenu dans un seul endroit, l'Alliance mondiale pour les foyers améliorés (GACC) estime que 155 millions de ménages et d'exploitations commerciales ont effectivement un accès suffisant au fumier. Le projet de biogaz peut soutenir des pratiques améliorées de gestion du fumier, tandis que la fin de ces projets peut inverser les gains de gestion du fumier, surtout si les praticiens reviennent à de mauvaises pratiques de gestion du fumier. Les Directives environnementales sectorielles sur l'élevage de l'USAID ([The USAID Sector Environmental Guideline on Livestock](#)) fournissent des informations supplémentaires sur les impacts environnementaux de la gestion du bétail/du fumier.

Une autre option d'alimentation pour les petites exploitations est la culture de plantes énergétiques, qui peuvent être combinées avec du fumier pour la co-digestion. Lorsque les projets de biogaz comprennent la culture de plantes énergétiques, les considérations environnementales associées à l'utilisation des terres, à l'utilisation et aux ressources en eau et aux émissions de GHG (entre autres) associées à la culture et à la récolte doivent être prises en compte. De plus, des subventions gouvernementales ou d'autres incitations de programme peuvent être nécessaires pour que les petits agriculteurs investissent dans la technologie du biogaz, car les coûts en capital de démarrage peuvent être trop élevés pour la plupart des agriculteurs dans les zones rurales.

Production au niveau communautaire. Les usines de biogaz communautaires peuvent aider à répondre aux besoins communs d'une communauté, notamment en matière d'assainissement, de sécurité énergétique, de contrôle de la pollution et de création d'emplois. En Inde, l'organisation de Sulabh a construit 200 usines de biogaz qui reçoivent des excréments des toilettes publiques, produisant un pied cube¹² de biogaz par personne et par jour.

L'étude de cas ci-dessous sur l'initiative « Cows to Kilowatts » à Ibadan, au Nigeria, fournit un exemple des avantages environnementaux potentiels résultant de projets efficaces de biogaz.

¹² 1 pied cube = 0,0283 mètre cube

Production de biogaz au niveau communautaire: Initiative « Cows to Kilowatts » à Ibadan, Nigeria

Dans les pays en développement, les abattoirs sont une source importante de pollution de l'eau et de GHG en raison de réglementations faibles, inexistantes ou mal appliquées. En plus de générer du méthane et du dioxyde de carbone à partir de la dégradation anaérobie, les déchets d'abattoirs peuvent également transporter des maladies qui peuvent affecter gravement la santé humaine.

À Ibadan, au Nigéria, un réacteur à pellicule fixe de 3 000 m³ a été mis au point pour convertir les déchets d'abattoirs en gaz de cuisine ménager propre. De plus, les sous-produits du biogaz peuvent être utilisés par les agriculteurs comme engrais organique et le biogaz peut être vendu pour un profit supplémentaire.

Ce projet, baptisé « Cows to Kilowatts », produit 1 800 m³ de biogaz par jour et génère 1 MW d'électricité pour les communautés à faible revenu. Le gaz de cuisson est fourni à 5 400 ménages.

Étant donné que la technologie des usines de biogaz n'est pas spécifique à l'abattoir, il existe un potentiel important pour que ce type de projet soit reproduit et étendu dans le monde entier. Pour plus de détails.

Pour plus de détails; voir http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2008/02/article_0002.html.

LES FOYERS AMELIORES

Les foyers améliorés sont une technologie particulièrement importante pour réduire la consommation de biomasse dans les pays en développement. Près de la moitié de la population mondiale brûle de la biomasse (par exemple du bois, de la bouse et du charbon) pour cuire des aliments et réchauffer leurs maisons dans des foyers ouverts ou dans des cuisinières simples. L'inhalation de la fumée âcre et de fines particules provenant des foyers de cuisson traditionnels contribue à près de deux millions de décès par an dans le monde, principalement chez les femmes et les enfants. Des millions d'autres ont des maladies pulmonaires et cardiaques ou souffrent de brûlures ou de défigurement dus à des flammes nues et à l'eau bouillante.



*Foyer améliorés artisanal écoénergétique.
Source: Winrock International.*

Au-delà des impacts sur la santé, l'utilisation de foyers de cuisson traditionnels a également des impacts environnementaux et sociaux indirects importants. La collecte de bois pour la production de charbon de bois et de combustible pour cuisiner est un facteur important de la déforestation qui est considérable, et aussi de la dégradation de bassins versants et de l'avancée de la désertification dans certains pays en développement. Au Togo, en République Démocratique du Congo, au Cambodge, au Guatemala, à Madagascar, en Tanzanie et dans de nombreux autres pays, la perte du couvert forestier due à la production de charbon de bois a eu des effets dévastateurs sur la biodiversité. En outre, les émissions dégagées par des foyers de cuisson simples, notamment le méthane, le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et le carbone noir, contribuent considérablement au changement climatique mondial.

La fabrication locale et la vente de foyers économes en énergie, qui peuvent réduire la consommation d'énergie de la biomasse de près de 40 pour cent, ont augmenté à travers l'Afrique depuis leur introduction dans les années 1980. Souvent fabriquées par des artisans, ces foyers nécessitent généralement des coûts de transport et de production relativement minimes, ce qui permet à leur prix de détail de rester abordable pour les bénéficiaires visés. Les modèles vont des petits bols en céramique portables aux grandes installations avec des cheminées adaptées en permanence. La durabilité de ces foyers varie d'un an pour les versions les plus simples à plus de dix ans pour les foyers permanents. Le prix varie en conséquence, d'environ 1 USD à plus de 90 USD, selon la conception.

Le GACC tente d'aborder les impacts sur la santé et l'environnement associés aux modes de cuisson inefficaces et traditionnelles en finançant l'achat de foyers améliorés et de technologies de foyers, et en élaborant des normes internationales et des protocoles d'essai rigoureux pour les foyers de cuisson. Leur objectif sur dix ans est de favoriser l'adoption de foyers améliorés et de combustibles propres dans 100 millions de ménages. Les technologies de foyers de cuisson spécifiques qu'ils prennent en charge, et plus d'informations sur leur organisation, peuvent être trouvées sur leur site web.

Le biogaz a le potentiel de remplacer la biomasse solide dans les foyers traditionnels qui utilisent du charbon de bois ou du bois comme combustible, avec des conséquences environnementales et des effets sur la santé, en particulier pour les femmes. Le GACC se concentre principalement sur les stratégies visant à rendre la combustion de la biomasse solide plus efficace, mais il y a un intérêt renouvelé pour les foyers de cuisson à biogaz et leur potentiel d'intégration dans la stratégie du GACC. Les foyers à biogaz utilisent la technologie de digesteur mentionnée ci-dessus pour convertir les déchets animaux et humains en méthane utilisable au niveau du ménage qui peut ensuite être brûlé pour une cuisson simple. Cependant, bien que les avantages environnementaux soient clairs, tout projet ciblant cette transition doit tenir compte de l'importante base culturelle des foyers de cuisson traditionnels dans de nombreux pays en développement.

QUESTIONS ENVIRONNEMENTALES ET MESURES D'ATTÉNUATION

La bioénergie moderne a le potentiel de répondre aux besoins énergétiques de nombreuses communautés d'une manière plus écologique et socialement bénéfique que l'utilisation traditionnelle de l'énergie à base de biomasse ou de combustibles fossiles. Les projets de développement énergétique à petite échelle visant à moderniser l'utilisation de la biomasse dans les zones rurales sont devenus des outils essentiels pour améliorer les services énergétiques tout en réduisant les risques de problèmes socio-économiques liés aux pénuries de ressources.

Cependant, il y a eu une prise de conscience croissante ces dernières années des impacts négatifs potentiels que la bioénergie peut avoir. La déforestation et le changement d'affectation des terres ont été liés à la demande croissante de bioénergie. La concurrence pour les terres, l'eau et les ressources des cultures peut également avoir une incidence négative sur la sécurité alimentaire et la disponibilité de l'eau. L'utilisation de l'énergie à base de biomasse peut directement avoir un impact sur les moyens de subsistance en raison des impacts sur la qualité de l'air intérieur et la sécurité de l'approvisionnement. Par exemple, les femmes rurales, traditionnellement responsables de la collecte du bois de chauffage, de la cuisine et de la collecte de l'eau dans de nombreuses régions, sont particulièrement vulnérables aux pénuries de ressources en biomasse. À mesure que le bois et les autres ressources de biomasse diminuent, les femmes doivent de plus en plus chercher du bois de chauffage et de la biomasse, perdant

ainsi du temps dans d'autres activités productives comme le démarrage de petites entreprises susceptibles d'apporter de l'argent au ménage. En outre, avec des distances plus longues à parcourir pour aller chercher du carburant, les femmes peuvent être exposées à la violence sexiste, en particulier dans les zones de conflit. Dans un camp de réfugiés de l'est du Tchad, la majorité des viols confirmés ont eu lieu alors que les femmes ramassaient du bois de chauffage comme combustible.

Les impacts positifs et négatifs particuliers d'un projet de bioénergie sont spécifiques au contexte local dans lequel le projet se produit. Répondre à ces conditions locales est essentiel au succès d'un projet de bioénergie. Par conséquent, il est de la plus haute importance que les impacts environnementaux soient pris en compte lors des étapes de sélection du site et de la technologie.

Les impacts environnementaux d'un projet énergétique particulier peuvent être liés aux activités agricoles ou forestières qui produisent la biomasse; le transport entre la source de la charge jusqu'à chaque point jusqu'à son utilisation finale; les activités de déblaiement et de construction du site pour le projet, les routes d'accès et les lignes de transmission; l'exploitation et la maintenance de la technologie de production d'énergie; et l'utilisation finale de l'énergie. Aux fins de ces directives, la plupart de ces étapes sont couvertes dans d'autres documents d'orientation de cette série. Le tableau suivant énumère quelques impacts environnementaux potentiels et des mesures d'atténuation et de surveillance illustratives pour les projets de bioénergie sur le site de production d'énergie et d'utilisation finale.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des principaux impacts environnementaux associés aux projets de bioénergie. Pour chaque impact environnemental mentionné, les mesures d'atténuation et de surveillance recommandées sont fournies. Pour chaque mesure d'atténuation et de surveillance, la phase au cours de laquelle les mesures recommandées doivent être prises est indiquée par la clé suivante: Planification et conception (P&D), Construction (C), Exploitation et maintenance (O&M) et Démantèlement (DCM).

Les impacts environnementaux inclus, les mesures d'atténuation et les mesures de surveillance sont destinés à servir de guide. Bien que ces listes soient censées être exhaustives, elles ne peuvent pas être considérées comme étant complètes, et il faut toujours déterminer les impacts potentiels au niveau du projet avant la mise en œuvre afin d'assurer la conception appropriée du projet.

De plus, le tableau ci-dessous ne devrait pas être utilisé à la place d'un plan d'atténuation et de surveillance de l'environnement (EMMP) propre au projet. Un modèle pour les EMMP spécifiques à un projet est fourni dans l'ANNEXE I du présent document.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
ENSEMBLE (BIOMASSE, BIOGAZ, BIOCARBURANT)		
<p>Impacts de la construction, mise en place des lignes de transport et développement ou réhabilitation des routes pour soutenir les projets de bioénergie. Les projets de bioénergie peuvent nécessiter l'installation de nouvelles technologies, la construction de nouveaux bâtiments (ou la modification de</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se référer aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID pour la construction et aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID pour les routes rurales (USAID Sector 	<ul style="list-style-type: none"> Se référer aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID pour la construction et aux Directives environnementales sectorielles de l'USAID pour

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>bâtiments existants), l'introduction de nouvelles routes (ou la réhabilitation de celles existantes) et / ou l'installation de nouvelles lignes de transmission. Un tel développement d'infrastructures peut avoir des impacts négatifs sur l'utilisation des terres, les sols, les ressources en eau, les panoramas / l'esthétique, la qualité de l'air, la santé et la sécurité humaines, entre autres.</p>	<p>Environmental Guideline for Construction et USAID Sector Environmental Guideline for Rural Roads) pour des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à ces aspects des projets de bioénergie.</p> <ul style="list-style-type: none"> Effectuer une évaluation du pré-développement ou un ESV pour assurer que les lignes de transport ou le développement de routes minimisent les impacts sur des services écosystémiques précieux (P&D) 	<p>les routes rurales (USAID Sector Environmental Guideline for Construction et USAID Sector Environmental Guideline for Rural Roads) pour des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à ces aspects des projets de bioénergie.</p>
<p>Impacts des pratiques agricoles et/ou installation de puits/forages/ irrigation. De nombreuses sources de bioénergie dépendent de la production agricole ou du bétail pour générer les matières premières nécessaires à la production d'énergie.</p> <p>Les pratiques agricoles (d'avant à après récolte), si mal gérées, peuvent avoir des impacts environnementaux négatifs importants. Par exemple, la qualité du sol et la fertilité peuvent être grandement affectées si les éléments nutritifs ne sont pas gérés de manière durable (en particulier en raison de la surexploitation de la biomasse, qui peut avoir un impact sur les cycles nutritifs naturellement équilibrés); l'utilisation de produits agrochimiques peut poser un risque pour la santé et la sécurité humaines et / ou menacer la flore, la faune et la qualité du sol et de l'eau; et l'introduction de nouveaux systèmes d'irrigation peut rendre les sources d'eau non viables ou faciliter le ruissellement des produits agrochimiques vers les plans d'eau de surface.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se référer aux Directives environnementales sectorielles de l'agriculture de l'USAID (USAID Sector Environmental Guideline for Agriculture) pour obtenir des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à la production agricole et/ou à l'irrigation pour les projets de bioénergie. Se référer aux Directives environnementales sectorielles pour l'élevage de l'USAID (USAID Sector Environmental Guideline for Livestock) pour des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à la gestion du bétail des projets de bioénergie. 	<ul style="list-style-type: none"> Se référer aux Directives environnementales sectorielles de l'agriculture de l'USAID (USAID Sector Environmental Guideline for Agriculture) pour obtenir des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à la production agricole et/ou à l'irrigation pour les projets de bioénergie. Se référer aux Directives environnementales sectorielles pour l'élevage de l'USAID (USAID Sector Environmental Guideline for Livestock) pour des conseils sur l'atténuation des impacts environnementaux associés à la gestion du bétail des projets de bioénergie.
<p>Durabilité des ressources. Les projets de bioénergie efficaces doivent fonctionner dans les</p>	<ul style="list-style-type: none"> Effectuer une évaluation du pré-développement des ressources 	<ul style="list-style-type: none"> Surveiller la disponibilité et le prix des aliments dans la

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>limites des ressources de la zone du projet ; la culture des matières premières est souvent en concurrence avec l'utilisation alternative des terres (principalement, mais pas exclusivement, la production alimentaire agricole). Sans travailler dans le cadre de ces contraintes, la production de bioénergie peut menacer l'approvisionnement alimentaire local, réduire les utilisations de l'eau dans la région et cultiver le ressentiment parmi la communauté affectée.</p>	<p>de la région, y compris, mais sans s'y limiter, les terres cultivables, les ressources en eau disponibles, les besoins en eau et son usage dans la région, les besoins en terre et son usage dans la région ; les cultures concurrentes de nourriture / bioénergie cultivées localement, les futures cultures bioénergétiques et les options de stockage des matières premières. (P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Éviter d'implanter des projets dans des zones telles que les projets agricoles concurrents s'étendent ou se délocalisent dans des zones écologiquement sensibles ou riches en carbone. (P&D, O&M) 	<p>zone - en particulier des cultures de subsistance - pour assurer une stabilité relative lors de l'introduction du projet de bioénergie. (P&D, O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surveiller la nappe phréatique, la disponibilité de l'eau de surface, sa saisonnalité et sa qualité. (O&M) • Surveiller l'émergence ou l'augmentation des besoins des utilisations concurrentes. (O&M)
<p>Changement d'affectation des terres. La production de cultures bioénergétiques a le potentiel de créer le changement d'affectation des terres, à la fois directs et indirects. Avec une mauvaise gestion, les cultures énergétiques peuvent déplacer la production agricole, contribuer à la déforestation ou même introduire des espèces non indigènes envahissantes et potentiellement nuisibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exiger, en vertu des attributions des partenaires d'exécution (IP), que les évaluations de base garantissent qu'aucune culture de biomasse ne sera cultivée sur des terres propices aux cultures vivrières. (P&D) • Plantez des cultures bioénergétiques sur des friches industrielles, des terres minières abandonnées ou d'autres zones de moindre qualité pour revitaliser des terres stériles, restaurer des sols saturés ou salés, stabiliser les zones sujettes à l'érosion, fournir un habitat et accroître la biodiversité. (P&D, C) • Effectuer une évaluation du pré-développement ou un ESV pour assurer que le changement d'affectation des terres 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer une visite de site indépendante pendant la conception et annuellement par la suite pour confirmer qu'aucune terre qui pourrait soutenir les cultures vivrières, dégrader les terres humides ou les habitats naturels n'est utilisée. (P&D, O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
	<p>minimisent les impacts sur des services écosystémiques précieux (P&D)</p>	
<p>Utilisation des ressources en eau au point de production d'énergie. Des quantités significatives d'eau peuvent être utilisées au moment de la production d'énergie. Si elle n'est pas correctement planifiée, cela peut réduire de façon non durable les ressources en eau de la région, menacer la flore et la faune locale et menacer le bien-être de la communauté.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer une évaluation de l'état initial des utilisations de l'eau et des besoins en eau pour la communauté locale et la flore et la faune locales. (P & D) • Élaborer un plan de gestion de l'eau, en coordination avec la communauté locale, pendant la conception et la production du document de projet. (P & D) 	<ul style="list-style-type: none"> • Surveiller la nappe phréatique, la disponibilité de l'eau de surface, sa saisonnalité et sa qualité. (O&M) • Surveiller l'émergence ou l'augmentation des besoins des utilisations concurrentes. (O&M)
<p>Entrées et écoulements chimiques. Le traitement et la fourniture des matériaux nécessaires à la production et à la maintenance des matières premières bioénergétiques peuvent émettre des polluants dans l'atmosphère.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recycler les produits chimiques utilisés lorsqu'ils sont sûrs et appropriés ; prendre des précautions lors de la fabrication afin de minimiser l'utilisation ou le gaspillage de matières dangereuses ; et assurer un emplacement et une conception appropriés du projet avant la mise en œuvre. (P&D, C, O&M) • Élaborer et évaluer des plans de gestion et d'élimination des déchets avec les fournisseurs et les utilisateurs finaux à l'étape de la planification et de la conception. (P&D) 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des analyses systématiques (par exemple biennuelles) du sol, des eaux de surface et des eaux souterraines. (O&M)
<p>La gestion des déchets. S'il est mal géré, le processus de production d'énergie pour la bioénergie peut entraîner une vaste gamme de déchets potentiellement dangereux, y compris des cendres provenant de la gazéification de la biomasse et des boues résiduelles issues de la digestion anaérobie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élaborer et évaluer des plans de gestion et d'élimination des déchets avec les fournisseurs et les utilisateurs finaux à l'étape de la planification et de la conception. (P&D) 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer un examen de routine (par exemple trimestriel) de l'efficacité du plan de gestion des déchets pour s'assurer que les déchets atteignent les sites d'élimination désignés et que toutes les précautions de manipulation appropriée sont respectées. (O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Émissions de GHG. Les changements d'utilisation des terres résultant de la conversion de terres agricoles pour la production de bioénergie peuvent entraîner des changements nets positifs dans les émissions globales de GHG.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluer l'adéquation du site de production végétale proposé avant la mise en œuvre du projet. (P&D) • Éviter la pollution extérieure et intérieure causée par la combustion des déchets et la pollution provenant du cycle de la bioénergie. (P&D, C, O&M) • Effectuer une évaluation du pré-développement ou un ESV pour assurer que le changement d'affectation des terres minimise les impacts sur des services écosystémiques précieux (P&D) 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des analyses de la qualité de l'air extérieur et intérieur et examiner régulièrement les effets sur la santé respiratoire humaine. (O&M) • Recueillir des mesures des émissions de GHG pendant le cycle de vie pendant la des matières premières bioénergétiques, le transport et l'utilisation finale du combustible. (C, O&M)

BIOMASSE

<p>Bilans Carbone et Déforestation. Lorsqu'elle est produite de manière responsable, la biomasse peut fournir une énergie qui réduit les émissions de carbone en déplaçant les combustibles fossiles. Cependant, dans de nombreux cas, la forêt naturelle est défrichée de manière non durable pour fournir des cultures de bioénergie, ce qui laisse un site qui ne peut pas être régénéré.</p> <p>Dans de nombreux pays en développement, après la collecte de la biomasse, il est inefficacement converti en énergie thermique pour la cuisson (principalement par les foyers de cuisson traditionnels), produisant des émissions nocives comme le carbone suie et le méthane qui contribuent de manière significative au réchauffement climatique.</p> <p>De plus, la perte de la canopée due à la récolte de bois et à la production de charbon de bois peut avoir un effet dévastateur sur la faune locale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser les déchets agricoles des cultures bioénergétiques comme matière première au lieu de la forêt naturelle. (P&D, C) • Utiliser des foyers améliorés efficaces qui peuvent maximiser l'efficacité de la biomasse solide, de sorte que moins de combustible est nécessaire. (P&D, O&M) • Utiliser la technologie du biogaz et des biocarburants dans la mesure du possible pour éviter l'utilisation de la biomasse solide comme combustible. (P&D, O&M) • L'initiative REDD + des Nations Unies pour réduire les émissions issues de la déforestation et de la dégradation des forêts s'attaque au taux élevé d'émissions de carbone liées à la biomasse grâce 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyser les émissions de carbone du cycle du combustible complet, à la fois au-dessus et au-dessous du sol pour l'ensemble du système d'approvisionnement en biomasse. (O&M) • Mesurer la récolte annuelle des ressources en bois. (O&M) • Voir la directive environnementale sectorielle sur la foresterie de l'USAID et la directive environnementale sectorielle sur l'agriculture de l'USAID (USAID Sector Environmental Guideline on Forestry et USAID Sector Environmental Guideline on Agriculture)
--	---	---

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
	<p>aux incitations de l'industrie à compenser les émissions de carbone par le reboisement et la gestion forestière. Il offre des incitations aux pays en développement pour réduire les émissions et inclut des rôles pour la conservation et la gestion durable des forêts et des stocks de carbone forestier. Voir la directive environnementale sectorielle de l'USAID sur la foresterie et la directive environnementale sectorielle de l'USAID sur l'agriculture (USAID Sector Environmental Guideline on Forestry et USAID Sector Environmental Guideline on Agriculture) pour plus d'informations. (P&D)</p>	<p>pour plus d'informations. (P&D)</p>
<p>Émissions de GHG. La quantité d'émissions produites par la technologie de foyers améliorés est fortement dépendante de l'efficacité du foyer de cuisson utilisé.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des foyers à haute efficacité énergétique pour minimiser les émissions ; les foyers à chaleur tournante qui améliorent l'efficacité de la combustion de la biomasse réduisent l'impact net sur le réchauffement de 60%. Les foyers à gazéificateur ont réduit le réchauffement net de 40%. (O&M) • Récolter la biomasse solide de manière durable, jusqu'à une réduction de 95% du réchauffement global. (O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Des analyses de la qualité de l'air extérieur et intérieur et des recherches sur les effets sur la santé respiratoire humaine devraient être effectuées régulièrement. (O&M) • Recueillir des mesures des émissions de GHG pendant le cycle de vie du combustible. (C, O&M)
<p>Santé humaine. Alors que les foyers améliorés peuvent réduire la pollution de l'air intérieur qui entraîne des effets néfastes sur la santé humaine, ils n'éliminent pas complètement les émissions nocives. Les impacts sur la santé</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des foyers à haute efficacité énergétique pour minimiser les émissions et assurer la cuisson dans des endroits bien ventilés. (P&D, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des analyses régulières de la qualité de l'air extérieur et intérieur et étudier les impacts sur la santé respiratoire humaine. (O&M).

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
humaine dépendent fortement de l'efficacité du foyer de cuisson utilisé.		

BIOGAZ

<p>Émissions de GHG. Lorsqu'il est mal géré, le fumier animal peut être une source majeure de pollution de l'air et de l'eau par lessivage des nutriments. La biodégradation naturelle de la matière organique dans des conditions anaérobies libère annuellement 590 à 800 millions de tonnes de méthane dans l'atmosphère. L'industrie de la production animale est responsable de 18% des émissions globales de GHG.</p> <p>Alors que la production de biogaz est généralement recommandée pour compenser les impacts environnementaux de la production de bovins, les digesteurs de biogaz peuvent également causer des problèmes environnementaux tels que des fuites de digesteurs défectueux ou une évacuation intentionnelle du méthane pour éviter l'accumulation de pression.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une planification et une surveillance appropriées pour atténuer les effets négatifs de ces problèmes sur le changement climatique. (P&D, O&M) • Utiliser des bio digesteurs de haute qualité pour éviter les fuites de méthane provenant des chambres de collecte de gaz et des tuyauteries. Recycler l'eau en séparant les solides du lisier. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recueillir des mesures des émissions de GHG du cycle de vie pendant le cycle de vie du combustible. (C, O&M)
<p>Pollution/Santé humaine. Les digesteurs de biogaz eux-mêmes sont également exposés à des fuites de déchets organiques et à des boues incomplètement stérilisées pendant la digestion, ce qui entraîne une pollution de l'eau et des terres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Étant donné que les effluents des digesteurs sont souvent utilisés dans les engrais, des précautions sont nécessaires lorsque les matières fécales humaines et porcines sont utilisées comme matière première, car certains parasites et agents pathogènes peuvent être dangereux pour la culture et l'ingestion humaine. (O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Étudier régulièrement les impacts sur la santé humaine des digesteurs de biogaz. (O&M)

BIOCARBURANT

<p>Développement "anti-pauvres". Des programmes de production de biocarburants mal conçus peuvent compromettre les efforts de développement en limitant les bénéficiaires des projets à de riches investisseurs étrangers</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Des schémas de conception pour garantir que les revenus des projets sont partagés par les investisseurs du projet et les petits exploitants qui produisent 	<ul style="list-style-type: none"> • Mener des enquêtes communautaires pour garantir aux petits exploitants une part
--	--	---

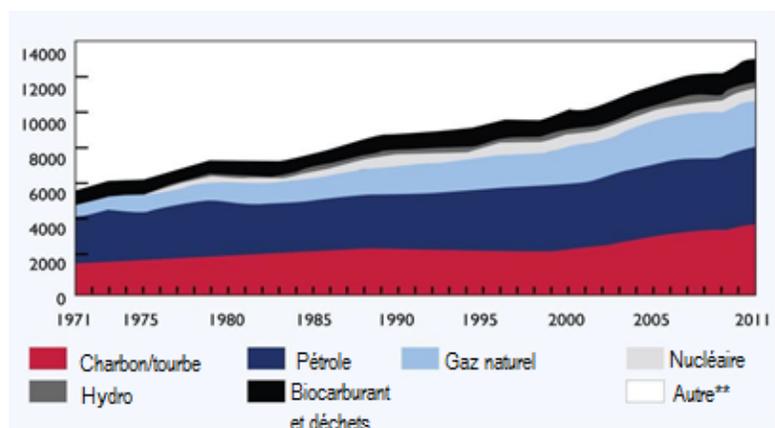
IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>ou à des parties prenantes locales bien positionnées.</p>	<p>et gèrent les cultures intermédiaires. (P&D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Offrir des possibilités de formation continue aux petits agriculteurs allant des meilleures pratiques agricoles et des techniques agricoles améliorées aux compétences de gestion, de production et de distribution pour promouvoir les opportunités de développement de la bioénergie à long terme du pays hôte. (O&M) 	<p>préétablie des revenus du projet. (O&M)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivre le nombre de personnes formées. (O&M) • Suivre les changements dans le nombre de développements opérés par le pays hôte ou la région hôte depuis le début du projet jusqu'à la clôture. (O&M)
<p>Conflits pour les ressources en eau. Le processus de raffinage des biocarburants peut être extrêmement gourmand en eau, avec des débits d'eau pouvant atteindre 5 litres d'eau par litre de carburant.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer la disponibilité des ressources en eau, à la fois pour soutenir la production de matières premières et pour le raffinage nécessaire pour les matières premières sélectionnées, sans nuire aux besoins agricoles locaux aux niveaux des macro et petits exploitants. (P&D) • Sélectionner les matières premières qui minimisent le mieux la demande globale en ressources en eau tout au long du cycle de production tout en maintenant l'efficacité sur le site sélectionné. (P&D) 	<ul style="list-style-type: none"> • Établir une base de référence des ressources en eau disponibles dans la région. (P&D) • Mener des enquêtes communautaires pour déterminer l'étendue des pénuries d'eau par rapport aux besoins de la communauté. (O&M)

COMBUSTIBLES FOSSILES

Le *World Energy Outlook 2012* de l'Agence internationale de l'énergie explore différents scénarios pour que le changement climatique mondial atteigne l'objectif de ne pas dépasser deux degrés d'ici 2050. Selon leur scénario d'efficacité énergétique, pas plus d'un tiers des réserves prouvées de combustibles fossiles ne doit être consommé avant 2050 si le monde veut atteindre l'objectif de 2°C.

APERÇU

Les combustibles fossiles sont considérés comme des ressources non renouvelables parce qu'ils se sont formés pendant des millions d'années à partir de la décomposition d'anciens matériaux végétaux et animaux dans des roches sédimentaires sous haute pression et ne se régénèrent pas rapidement une fois extraits. Le charbon, le gaz naturel et le pétrole sont les plus grandes sources de besoins énergétiques mondiaux et alimentent les deux tiers de la production d'électricité. La plupart des activités de développement à petite échelle reposent sur les combustibles fossiles, principalement pour l'exploitation de machines, de pompes et de générateurs diesel et pour le transport. En fait, dans les zones rurales du monde entier, les groupes électrogènes diesel sont probablement la source d'électricité la plus courante et le diesel est la principale source de carburant pour le transport et l'industrie.



Source: IEA, *Key World Energy Statistics 2012*.

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes.pdf>

CHARBON ET LIGNITE

Les émissions de dioxyde de carbone provenant de la combustion du charbon et du lignite représentaient 28,3% des émissions totales de GHG des États-Unis en 2010. Les émissions associées à la combustion du charbon et du lignite peuvent avoir des effets nocifs importants sur la santé humaine, telles que les maladies respiratoires. En plus des impacts associés aux émissions de GHG et aux polluants atmosphériques provenant de la combustion, l'extraction du charbon a des effets négatifs importants sur les paysages et les ressources en eau.

GAZ NATUREL

Le gaz naturel est principalement du méthane. Ses émissions ont moins d'impacts potentiels sur la santé humaine et l'environnement, mais son extraction et sa production entraînent toujours des impacts environnementaux négatifs importants.

PÉTROLE

La plus grande utilisation de pétrole dans le monde est pour le transport, et ne représente qu'un faible pourcentage des besoins en électricité. L'absence de solutions de recharge renouvelables importantes dans le secteur des transports pourrait avoir des effets néfastes à long terme sur le développement à petite échelle, alors que les ressources pétrolières et gazières mondiales diminuent et que la demande et le prix de ces combustibles continuent d'augmenter.

Le gaz de pétrole liquéfié (LPG) est un sous-produit du traitement du gaz naturel et du raffinage du pétrole qui se transforme en liquide sous une pression modérée. Le LPG est utilisé comme carburant de véhicule à moteur dans un mélange liquide, généralement appelé "propane" parmi les consommateurs. Il est également utilisé pour la cuisson, le chauffage et la réfrigération.

TENDANCES ET ÉCONOMIE

Selon Le World Energy Outlook (WEO) 2012, le monde n'agit pas assez rapidement pour une transition vers un système énergétique mondial plus durable. Selon le *scénario des nouvelles politiques* du WEO 2012 (scénario central du WEO), la demande énergétique mondiale devrait augmenter de plus d'un tiers jusqu'en 2035, la Chine, l'Inde et le Moyen-Orient représentant 60% de cette augmentation. La demande d'énergie ne devrait pas beaucoup augmenter dans les pays de l'OCDE et cette partie du monde devrait s'éloigner du pétrole, du charbon et des sources d'énergie nucléaires, pour une plus grande utilisation du gaz naturel et des énergies renouvelables. Malgré cette évolution vers des options énergétiques sobres en carbone, les combustibles fossiles restent la principale source d'énergie au niveau mondial, soutenus par 523 milliards de dollars de subventions en 2011. Le *scénario des Nouvelles politiques* **visent à prévenir de nouvelles hausses de température de plus de 2°C**, et que pour ce faire, il ne faudra pas consommer plus d'un tiers des réserves actuelles de combustibles fossiles avant 2050, à moins que **la technologie de captage et de stockage du carbone (CCS)** ne soit mise en œuvre à grande échelle. Parmi les réserves de combustibles fossiles restantes, les deux tiers sont attribués au charbon, 22% au pétrole et 15% au gaz. Les deux tiers de ces réserves se trouvent en Amérique du Nord, au Moyen-Orient, en Chine et en Russie.

GAZ NATUREL

Dans tous les scénarios de l'IEA, la demande de gaz naturel augmente. En Chine, en Inde et au Moyen-Orient, la demande est forte, ce qui prouve que le gaz naturel se porte bien dans des conditions politiques variables. On s'attend à ce que le gaz dépasse l'utilisation du pétrole aux États-Unis d'ici 2030 en raison des bas prix et de l'abondance de l'offre.

DIRECTIVE ENVIRONNEMENTALE SECTORIELLE :
ÉNERGIE À PETITE ÉCHELLE

Moteurs et carburant diesel

Les moteurs diesel sont l'un des principaux contributeurs à la mauvaise qualité de l'air et aux émissions de GHG dans le monde en raison de leur utilisation dans les véhicules et une grande partie de l'équipement dans le monde. Cela continuera vraisemblablement en raison des augmentations prévues du nombre de véhicules et de kilomètres parcourus par les véhicules dans le monde.

L'utilisation du carburant diesel pour la production locale d'électricité est courante dans de nombreux contextes de développement, en particulier dans les zones rurales et dans les zones urbaines où la production d'électricité à partir de sources centrales est soit inexistante soit peu fiable.

Près de la moitié de l'augmentation de la production mondiale de gaz d'ici 2035 sera qualifiée **de gaz non conventionnel**¹³, principalement en provenance de Chine, des États-Unis et d'Australie. Cependant, les industries gazières non conventionnelles trouvent encore leur place, et il existe beaucoup d'incertitude quant à l'étendue et à la disponibilité des bases de ressources gazières non naturelles connues.

QUEL EST L'AVENIR DU CHARBON ?

Dans le monde, le charbon fournit 26,6% de la consommation d'énergie, mais émet 43,1% du dioxyde de carbone mondial. Selon la force des politiques visant à favoriser les sources d'énergie renouvelables à faibles émissions, la demande de charbon pourrait varier considérablement au cours de la prochaine décennie. L'application d'une technologie efficace de combustion du charbon sera cruciale, en particulier à Beijing et à New Delhi, où 75% de la demande de charbon non-OECD devrait se produire.

QUESTIONS ENVIRONNEMENTALES ET MESURES D'ATTÉNUATION

Un certain nombre de problèmes environnementaux auxquels le monde est confronté aujourd'hui sont dus à la dépendance aux combustibles fossiles pour l'énergie. Les combustibles fossiles produisent la plus grande quantité d'émissions de GHG dans le monde, principalement par combustion pour produire de l'électricité. Alors que les effets néfastes sur la qualité de l'air et les émissions de GHG sont minimes par rapport aux activités des ménages ou des microentreprises, lorsqu'ils sont combinés par des milliers de ménages ou de petites entreprises, les émissions atmosphériques cumulées peuvent devenir très importantes, en particulier dans les milieux urbains sujettes à des inversions.

Le tableau suivant met en évidence les impacts environnementaux associés à l'utilisation des carburants susmentionnés dans le développement à petite échelle.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
CHARBON ET LIGNITE		
<p>La pollution de l'air. La combustion du charbon est l'une des principales causes du smog, des pluies acides et de la pollution atmosphérique toxique. Les émissions comprennent les éléments suivants :</p> <p>Dioxyde de soufre (SO₂): Les centrales au charbon sont la principale source de pollution au SO₂, ce qui nuit à la santé publique, notamment en contribuant à la formation de</p>	<ul style="list-style-type: none"> Lorsque cela est possible, utilisez des chaudières, des fourneaux et des lampes économiques et à haut rendement qui utilisent de l'énergie renouvelable. (P&D, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> Maintenir les journaux quotidiens de la qualité de l'air extérieur et intérieur. (O&M) Mesurer continuellement la qualité de l'air extérieur et intérieur à certains endroits. Effectuer des évaluations semestrielles des impacts sur

¹³ Le gaz non conventionnel nécessite une plus grande technologie et des investissements à récupérer en raison de ses emplacements géologiques inhabituels. Les trois principales sources sont le gaz de schiste, le gaz étanche et le méthane de houille.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>petites particules acides qui peuvent pénétrer dans les poumons et être absorbées par la circulation sanguine. Le SO₂ provoque également des pluies acides, qui endommagent les cultures, les forêts et les sols, et acidifient les lacs et les cours d'eau.</p> <p>Oxydes d'azote (NOx) : La pollution par les NOx cause de l'ozone troposphérique, ou smog, qui peut brûler les tissus pulmonaires, exacerber l'asthme et rendre les gens plus vulnérables aux maladies respiratoires chroniques.</p> <p>Particules (PM) : Les particules (aussi appelées suie ou cendres volantes) peuvent causer une bronchite chronique, un asthme aggravé et une mort prématurée, ainsi qu'un nuage, qui entrave la visibilité.</p> <p>Mercure : Les centrales au charbon sont responsables d'importantes émissions de mercure, un métal lourd toxique qui cause des problèmes de cœur et de trouble du cerveau. Juste 1/70e d'une c.à.c de mercure déposé sur un lac de 25 acres peut rendre le poisson dangereux à manger. La technologie d'injection de charbon actif peut réduire les émissions de mercure jusqu'à 90% lorsqu'elle est combinée avec des filtres à manches.</p> <p>D'autres polluants nocifs incluent les métaux lourds toxiques tels que le plomb et le cadmium, ainsi que des traces d'uranium. Les filtres à manches peuvent réduire les émissions de métaux lourds jusqu'à 90%. De plus, la combustion du charbon produit du monoxyde de carbone, des hydrocarbures et des composés organiques volatils (VOC) qui forment de l'ozone et de l'arsenic.</p>		<p>la santé respiratoire humaine. (O&M)</p>
<p>Ressources en eau. Si l'exploitation minière se produit localement, les plans d'eau avoisinants risquent d'être contaminés</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des joints en ciment pour séparer et protéger les roches, le 	<ul style="list-style-type: none"> • Surveiller la hauteur de la nappe phréatique, la disponibilité de l'eau de

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
	sol et les eaux souterraines environnantes. (C)	surface, sa saisonnalité et sa qualité. (C, O&M)
<p>La gestion des déchets. Les résidus de la combustion et du stockage du carburant contaminent les sols et les plans d'eau à proximité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Élaborer et mettre en œuvre des protocoles pour le confinement et l'élimination des résidus de combustion. (O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> Surveiller régulièrement le processus de gestion des déchets pour assurer le confinement et l'élimination adéquats des résidus de combustion. (O&M)
<p>Changement d'affectation des terres. Lorsque le charbon est extrait localement, les changements d'affectation des terres dus au forage peuvent entraîner une perte substantielle d'habitat et interférer avec les utilisations existantes des terres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Effectuer des évaluations préalables au développement avant la mise en œuvre pour s'assurer que les zones biologiquement et culturellement sensibles sont évitées. (P&D) Reboiser ou repeupler les espèces affectées dans les zones non directement touchées par l'exploitation minière. (C, P&D) 	<ul style="list-style-type: none"> Inspection visuelle au début de la construction pour déterminer le niveau de couvert arboré / l'incidence de l'habitat animal. Mener des inspections de suivi tout au long du processus de réhabilitation. (C, O&M)
<p>Effets sur la santé. La fumée résultant du chauffage et de la cuisson peut avoir des effets cumulatifs sur la santé des ménages, en particulier sur les femmes qui cuisinent avec ces combustibles, et aussi sur les familles qui utilisent ces combustibles pour se chauffer. Ces impacts peuvent également s'étendre au niveau de la communauté, en particulier pendant les mois d'hiver froids où l'utilisation du charbon par les ménages atteint son maximum.</p> <p>Lorsque l'exploitation minière artisanale a lieu localement, des problèmes potentiels de santé et de sécurité peuvent exister pour les mineurs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Lorsque vous ne pouvez pas utiliser la technologie propre pour chauffer et cuisiner, construisez des cuisines avec des matériaux poreux et une bonne ventilation pour améliorer la qualité de l'air intérieur. (C) Fournir des PPE aux travailleurs locaux, en particulier des masques, pour éviter l'inhalation de poussière et de fumée pendant l'exploitation minière. (P & D, C, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> Effectuer des analyses régulières de la qualité de l'air extérieur et intérieur, et étudier les impacts sur la santé respiratoire humaine. (C, O&M) Visiter les lieux de travail deux fois par an pour s'assurer que les PPE et les pratiques de sécurité sont utilisées. (O&M)
<p>Le réchauffement climatique. Émissions de GHG provenant de la combustion du charbon au niveau des ménages, principalement pour le chauffage et la cuisine.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Lorsque cela est possible, utilisez des chaudières, des fourneaux et des lampes économiques et à haut rendement qui utilisent de l'énergie renouvelable. (P&D, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> Prendre des mesures des émissions de GHG du cycle de vie pendant l'exploitation et l'extraction, et de l'utilisation finale du combustible. (C, O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
DIESEL		
<p>Contamination de l'eau/du sol. Des déversements et des émanations de vapeurs peuvent se produire aux pompes, ainsi que des fuites provenant des réservoirs souterrains, causant la contamination des eaux souterraines, des eaux de surface et du sol.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisez des blocs de béton bien conçus pour capturer les contaminants en cas d'infiltration ou de déversement. (P&D, C, O&M, DCM) • Utiliser des buses antifuites sur les pompes. (C, O et M) • Inspecter les réservoirs au-dessus et au-dessous du sol pour détecter la rouille et les soudures de mauvaise qualité. • Élaborer et établir des protocoles pour éduquer les travailleurs sur les opérations et la sécurité appropriées. (P&D, O&M) • Établir des exigences contractuelles pour les réservoirs de démantèlement à la fin de leur durée de vie programmée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenir les registres de carburant et d'O&M. Visitez les lieux de travail deux fois par an pour vérifier les registres et s'assurer que les coussinets et les buses empêchent et capturent les rejets, suintements ou déversements. (O&M) • Lors du démantèlement des réservoirs, assurer le confinement de tout le carburant liquide résiduel.
<p>La pollution de l'air. Les principaux polluants émis par les moteurs diesels comprennent : les particules, le monoxyde de carbone, les NOx, les hydrocarbures, les VOC et d'autres polluants atmosphériques dangereux, selon la Clean Air Act. Des informations sur ces polluants peuvent être trouvées sur :</p> <p>http://www.mde.maryland.gov/programs/Air/MobileSources/DieselVehicleIn formation/HealthandEnvironmentalEffects/Pages/index.aspx.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une teneur réduite en soufre et en aromatiques dans le carburant, et envisager d'utiliser des carburants sans soufre, tels que le gaz naturel, dans les applications lourdes. (P&D) • Utiliser les technologies de contrôle de la pollution de l'air et les moteurs hybrides et les piles à combustible. (P&D) • Utiliser les rénovations de clapets d'échappement et des détecteurs de fumée. (P&D, C, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenir les journaux quotidiens de la qualité de l'air extérieur et intérieur. (O&M) • Mesurer continuellement la qualité de l'air extérieur et intérieur à certains endroits. • Effectuer des évaluations semestrielles des impacts sur la santé respiratoire humaine. (O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Santé/sécurité des travailleurs. La santé et la sécurité des travailleurs sur les sites de stockage et de remplissage peuvent être affectées si les PPE ne sont pas fournies. L'exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel affecte principalement le système respiratoire et aggrave l'asthme, les allergies, la bronchite et la fonction pulmonaire. Il existe des preuves que l'exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel peut augmenter le risque de problèmes cardiaques, de décès prématurés et de cancer du poumon.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Exiger que les travailleurs portent des PPE pour éviter l'exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel. (P&D, C, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Visiter les lieux de travail deux fois par année pour s'assurer que les PPE et les pratiques de sécurité sont utilisés. (O&M)
<p>Le réchauffement climatique. Lorsque les générateurs diesel sont utilisés pour la production locale d'électricité, les impacts cumulatifs de nombreux générateurs domestiques ou commerciaux / industriels peuvent avoir des effets négatifs importants sur la qualité de l'air et produire des augmentations notables des émissions de GHG par rapport aux émissions produites par les centrales électriques alimentées aux combustibles fossiles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des alternatives aux générateurs diesel, y compris les systèmes prêts pour les biocarburants et les piles à combustible. Un exemple peut être trouvé sur : http://www.yorpower.com/renewable-energy.htm. (P&D) • Utiliser la technologie de contrôle des émissions. (O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des estimations calculées des émissions de GHG du cycle de vie. (P&D, O&M)

GAZ DE PETROLE LIQUEFIE

<p>Contamination de l'eau / du sol. Des déversements et des émissions par évaporation peuvent se produire pendant le ravitaillement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des réservoirs scellés et des soupapes de ravitaillement spéciales pour éliminer les émissions par évaporation et les déversements. (P&D, C, O&M) • Développer et mettre en œuvre des protocoles pour une manipulation sûre du LPG pendant le ravitaillement. (O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Assurez-vous que les instructions de manutention appropriées sont reçues. • Effectuer des analyses régulières des conditions du sol et de l'eau. (O&M)
<p>La pollution de l'air. Le LPG est généralement une alternative plus propre à de nombreux carburants, mais sa combustion produit toujours des polluants. Certaines substances toxiques, en particulier l'oxyde d'azote et le monoxyde de carbone, ont généralement des émissions plus faibles que</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une technologie de contrôle des émissions et envisager d'autres options de carburant. (P&D, O&M) • Effectuer une évaluation du pré-développement ou un ESV pour 	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer des analyses régulières de la qualité de l'air extérieur et intérieur et étudier les impacts sur la santé respiratoire humaine. (O&M)

IMPACT ENVIRONNEMENTAL	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
celles des véhicules à essence, mais elles se produisent toujours. Les niveaux d'émission de dioxyde de carbone sont réduits jusqu'à 40% par rapport à ceux des véhicules fonctionnant à l'essence, mais peuvent encore se produire.	assurer que les activités de la qualité de l'air et la séquestration du carbone minimisent les impacts sur des services écosystémiques précieux (P&D)	

SYSTÈMES DE RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES DISTRIBUÉS

Les systèmes de ressources énergétiques distribuées (DER) offrent une approche flexible et réactive de la gestion de l'alimentation électrique. En puisant dans une collection de sources d'énergie, les systèmes DER peuvent avoir des coûts moins élevés, moins d'impacts sur l'environnement et une sécurité d'approvisionnement améliorée par rapport aux grandes centrales électriques.

APERÇU

SYSTÈMES DE RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES DISTRIBUÉES (DER)

Les systèmes de ressources énergétiques distribuées (DER) génèrent de l'électricité à partir de nombreuses petites sources d'énergie locales, contrairement au système traditionnel qui utilise de grandes centrales électriques centralisées. Souvent, le DER combine un mélange de technologies de production d'énergie, qu'elles soient fossiles ou renouvelables, avec des systèmes de gestion et de stockage de l'énergie pour permettre un approvisionnement énergétique fiable et de haute qualité. Les systèmes DER peuvent aller de 3 kW à 50 MW¹⁴.

En puisant dans des sources d'énergie plus petites et «distribuées», le DER offre la possibilité d'un mélange énergétique plus propre, entraînant moins d'impacts environnementaux que les centrales à plus grande échelle. En outre, le système décentralisé offre la possibilité de réduire la congestion dans les lignes de transport de surface, ainsi qu'une flexibilité et une réactivité accrues aux besoins énergétiques réels.

Les systèmes DER peuvent être utilisés pour la production **d'électricité de base**, dans laquelle le système DER fournit l'énergie primaire pour une zone donnée. Cependant, ils ont aussi la flexibilité



Photo d'un micro-réseau local, le Sendai Micro-grid, situé sur le campus de l'université Tohoku Fukushi dans la ville de Sendai dans le district de Tohoku au Japon. Source: Installations NTT. http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_generation

¹⁴ Whole Building Design Guide: A Program of the National Institute of Building Sciences: Distributed Energy Resourced (DER) by Barney L. Capehart, PhD, CEM College of Engineering, University of Florida. <http://www.wbdg.org/resources/der.php>

d'être utilisés comme source d'énergie secondaire pour répondre à **la demande de pointe**, lorsque les besoins en énergie sont les plus élevés dans une zone donnée. Lorsqu'ils sont utilisés pour la demande de pointe, parce que les systèmes DER ne sont pas centralisés, ils sont particulièrement utiles pour répondre dans des domaines spécifiques où la demande d'énergie est la plus élevée tandis que l'usine centrale fournit la majorité de l'énergie au système énergétique.

Le Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL) offre un aperçu des **bases de l'énergie distribuée** à l'adresse:

http://www.nrel.gov/learning/eds_distributed_energy.html.

TECHNOLOGIES DER

Les technologies DER sont **modulaires** par conception, conçues pour une utilisation flexible. Dans la pratique, les systèmes DER sont également diversifiés, tirant parti des énergies renouvelables ou des combustibles fossiles tels que le diesel, les huiles usagées et le gaz naturel. Les énergies renouvelables peuvent inclure l'énergie éolienne, l'énergie solaire photovoltaïque, l'énergie hydroélectrique et/ou la biomasse.

Le tableau ci-dessous est adapté des informations développées dans le California Distributed Energy Resources Guide et décrit les technologies communes utilisées en conjonction avec les systèmes DER.



*Un générateur de vent local en Espagne, 2010.
Crédit Photo: Patrick Charpiat.*

TECHNOLOGIES DER	PRODUCTION D'ÉNERGIE	UTILISATION DE CARBURANT (S)	AVANTAGES
<p>Microturbines</p> <p>Petites turbines à combustion dérivées des technologies de turbocompresseur que l'on trouve dans les gros camions ou dans les unités motrices auxiliaires (APU). Pour plus d'informations, reportez-vous à : Microturbines.</p>	25 kW – 500 kW	Gaz naturel, propane, diesel, multi-combustibles	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire de manière significative les émissions de GHG par rapport à la production d'électricité traditionnelle à partir de combustibles fossiles. • Peut être utilisé comme système combinée de chaleur et d'électricité (CHP) pour améliorer l'efficacité. • Peut fournir un chauffage à petite échelle (résidentiel ou commercial)

TECHNOLOGIES DER	PRODUCTION D'ÉNERGIE	UTILISATION DE CARBURANT (S)	AVANTAGES
			<ul style="list-style-type: none"> • Disponible dans le commerce et peut être acheté en quantités limitées. • Peut être utilisé de manière flexible, par exemple, pour répondre à la charge de base ou aux demandes d'énergie de pointe.
<p>Turbines à combustion</p> <p>Les générateurs à turbine à combustion conventionnelle (CT) sont généralement alimentés par du gaz naturel, du pétrole ou une combinaison de carburants.</p> <p>Les unités de turbine à combustion à cycle unique modernes ont typiquement des rendements de l'ordre de 20% à 45% à pleine charge.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 500 kW – 25 MW • (DER) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gaz naturel, distillat, méthane 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement énergétique très élevé lorsqu'il est utilisé pour la cogénération • Actuellement disponible sur le marché, avec des coûts d'exploitation et d'entretien relativement bas. • Peut être utilisé de manière flexible, c'est-à-dire pour répondre à la charge de base ou aux demandes d'énergie de pointe.
<p>Moteurs à combustion interne</p> <p>Un moteur à combustion interne (IC) convertit l'énergie du carburant en énergie mécanique, ce qui fait tourner un arbre dans le moteur pour générer de l'énergie à partir de la rotation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 5 kW – 7 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • Diesel, gaz naturel, propane, biogaz 	<ul style="list-style-type: none"> • Peut fournir de grandes charges de puissance en l'absence de source d'alimentation centralisée • Si elle est utilisée comme alimentation de support, elle a un démarrage rapide qui évite l'utilisation de sources d'alimentation ininterrompues (UPS). • Maturité, technologie disponible dans le commerce. • Très efficace lorsqu'il est utilisé pour la cogénération.

TECHNOLOGIES DER	PRODUCTION D'ÉNERGIE	UTILISATION DE CARBURANT (S)	AVANTAGES
<p>Systèmes de stockage d'énergie/alimentation ininterrompue</p> <p>Ne produisent pas d'énergie nette mais fournissent de l'énergie électrique pendant de courtes durées, afin de stabiliser l'approvisionnement en électricité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • N/A 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponible dans le commerce • Assure la stabilité de l'approvisionnement en énergie dans le cas où les sources d'alimentation de base deviennent temporairement instables ou défaillantes.
<p>Systèmes photovoltaïques</p> <p>Voir la discussion sur le photovoltaïque solaire dans la section énergie solaire de cette directive</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Aucune 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de coûts variables pour le carburant. • Aucune pièce mobile - maintenance peu coûteuse et longue durée de vie • Aucune émission ou bruit. • Peut être utilisé pour l'écrêtement de la demande de pointe • Technologie hautement fiable et mature.
<p>Systèmes éoliens</p> <p>Voir la section énergie éolienne de cette directive.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes éoliennes— <1kW - 1,000 kW 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune —Vitesse du vent >20Km/h 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de coûts variables pour le carburant • Dans la mise en œuvre des services publics, les émissions nulles peuvent permettre une prime de tarification pour «l'énergie verte» • Technologie mature. • Plusieurs fabricants.
<p>Systèmes hybrides</p> <p>Ceux-ci combinent les technologies disponibles pour améliorer la</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En fonction de la combinaison de technologies 	<ul style="list-style-type: none"> • En fonction de la combinaison de technologies 	<ul style="list-style-type: none"> • En fonction de la combinaison de technologies

TECHNOLOGIES DER	PRODUCTION D'ÉNERGIE	UTILISATION DE CARBURANT (S)	AVANTAGES
<p>performance et l'efficacité de l'équipement et l'approvisionnement en énergie.</p> <p>Un exemple de système hybride serait une éolienne utilisant un stockage de batterie et des générateurs de secours alimentés au diesel.</p>			

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES TECHNOLOGIES DES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES DISTRIBUÉES (DER)

TECHNOLOGIE	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
<p>Microturbines</p> <p>L'efficacité est de 28% à 33%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Effets environnementaux négatifs limités sur le site 		
<p>Petites turbines à combustion à gaz</p> <p>L'efficacité est de 25% à 40%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin éventuel de stocker du carburant sur le site • Rejets sur le site • Fonctionnements bruyants 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des protocoles de formation et d'orientation sur le stockage, la manipulation et l'évacuation appropriés des carburants. (P&D, O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservez les journaux d'exploitation sur l'alimentation, l'entretien et les déversements. (O&M) • Effectuer des tests de bruit avec des populations d'échantillons avant la construction. (P&D)
<p>Moteurs à combustion interne</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin éventuel de stocker du carburant sur le site 	<ul style="list-style-type: none"> • Si un réservoir sur site est requis, assurez-vous que le réservoir est 	

TECHNOLOGIE	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
L'efficacité est de 28% à 37%	<ul style="list-style-type: none"> • Rejets sur le site • Fonctionnements bruyants 	<p>doublé, avec une «zone de déversement» non perméable pour attraper les déversements accidentels (par exemple, la dalle en béton). (P&D, C)</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'atténuation du bruit, par exemple, maintient le moteur dans une pièce étouffée et / ou un site dans une zone éloignée des zones sensibles (par exemple les écoles, les hôpitaux, les résidences) lorsque cela est possible. (P&D, C) • Conserver dans un endroit bien ventilé. Si vous êtes à l'extérieur, assurez-vous qu'il n'est pas situé près des zones sensibles (par exemple, les écoles, les 	

TECHNOLOGIE	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	MESURES D'ATTÉNUATION	MESURES DE SUIVI
		hôpitaux, les résidences). (P&D, C)	
Photovoltaïque	Voir la discussion sur les impacts environnementaux dans la section Energie Solaire de cette directive.		
Grandes éoliennes	Voir la discussion sur les impacts environnementaux dans la section Energie Eolienne de cette directive.		

LE CONCEPT D'EFFET ENVIRONNEMENTAL CUMULATIF

APERÇU

De nombreuses activités humaines peuvent ne pas avoir d'effets significatifs sur l'environnement lorsqu'elles sont évaluées individuellement; l'installation d'une seule pompe pour l'irrigation des eaux souterraines ou fluviales peut avoir peu d'impact sur les ressources en eau, mais une centaine de pompes similaires dans la même zone peuvent drainer un aquifère souterrain ou réduire considérablement les débits aval. De même, un feu de cuisine dans un centre urbain ou un camp de réfugiés n'a pas d'effet individuel sur la santé des femmes qui préparent les repas, mais multiplié par mille et mélangé avec les gaz d'échappement des véhicules devient un danger sérieux pour la santé à long terme.

De plus en plus, les activités de développement à petite échelle qui sont considérées comme bénéfiques individuellement, lorsqu'elles sont combinées et interagissent les unes avec les autres, ont des impacts globaux qui sont d'intérêt local, national et planétaire. La détérioration des terres arides, la dégradation et la contamination des sols agricoles, la perte de populations de poissons artisanaux et la pollution des rivières et des cours d'eau ruraux peuvent être

attribués à l'accumulation et à l'interaction de nombreuses actions individuelles. La croissance de nos chiffres signifie que nos actions prises ensemble sont un facteur majeur derrière l'augmentation alarmante des émissions de GES, y compris les pratiques de transport individuel et la consommation d'énergie. Ces effets peuvent différer dans la nature ou l'ampleur des effets de ces activités individuelles. Les écosystèmes ne peuvent pas toujours s'adapter aux effets combinés des activités humaines sans changements fonctionnels ou structurels fondamentaux.

Comprendre les effets environnementaux cumulatifs

Les effets environnementaux cumulatifs ne devraient pas être considérés comme un nouveau type d'effet environnemental. Le concept est simplement la reconnaissance des manières complexes dont les effets des projets et des activités individuels interagissent et se combinent les uns avec les autres dans le temps et à distance. Ainsi, pour tenir compte des effets environnementaux cumulatifs dans les évaluations environnementales, il suffit de penser cumulativement. Cela signifie qu'il faut considérer :

- "Les limites temporelles et géographiques de l'évaluation; et
- Les interactions entre les effets environnementaux du projet et les projets et activités passés et futurs.

Dans une certaine mesure, les évaluations environnementales fédérales et autres portent déjà sur les effets environnementaux cumulatifs. Par exemple, la plupart examinent les conditions environnementales de référence, qui comprennent les effets environnementaux cumulatifs des projets et des activités passés et existants. Cependant, il faudrait également tenir compte des effets environnementaux cumulatifs résultant des interactions entre les effets environnementaux du projet proposé et ceux des projets et activités futurs.”

Guide canadien de référence pour l'évaluation environnementale: Aborder les effets environnementaux cumulatifs

<http://www.ceaa.gc.ca/default.asp?lang=En&n=9742C481-1&offset=1&toc=show>

IMPLICATIONS GLOBALES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

D'autres exemples d'effets environnementaux cumulatifs comprennent la perte progressive de terres humides, la déforestation, l'agriculture sur brûlis, la perte de paysages esthétiques, la diminution de la biodiversité, la perte d'habitat et la perte des utilisations traditionnelles des ressources naturelles. En outre, les impacts sociaux de ces activités peuvent inclure le déplacement ou la réinstallation de populations autochtones.

L'évaluation des effets environnementaux cumulatifs devient essentielle à un stade précoce du processus de conception du projet. Bien que cela soit reconnu par les écologistes et les spécialistes de l'environnement, les techniques actuelles d'évaluation et de gestion ne permettent pas toujours de les prédire ou de les contrôler de manière adéquate.

PLANIFIER POUR UN CHANGEMENT CLIMATIQUE

Alors que le climat continue de changer en réponse aux émissions de GHG insoutenables, les projets d'énergie renouvelable à petite échelle offrent une opportunité d'atténuation indirecte contre le changement climatique pour les individus et communautés les plus vulnérables face aux impacts négatifs du changement climatique, en limitant les émissions de GHG et en diffusant la conscience technologique et la capacité à utiliser des pratiques énergétiques durables.

Dans le même temps, les projets d'énergie renouvelable à petite échelle peuvent être affectés par le changement climatique qu'ils peuvent aider à stabiliser, car les fluctuations des conditions météorologiques locales influencent à leur tour les ressources naturelles sur lesquelles les projets d'énergie renouvelable comptent pour réussir.

Dans le contexte de l'EIA, l'atténuation est la mise en œuvre de mesures visant à éliminer, réduire ou compenser les effets indésirables d'une action proposée sur l'environnement.

Dans le contexte du changement climatique, l'atténuation est une intervention visant à réduire les sources ou à améliorer les puits de GHG afin de limiter l'ampleur et/ou le rythme du changement climatique.

S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MINIMISANT LA VULNÉRABILITÉ GRÂCE À LA CONCEPTION DU PROJET

Les modifications de la couverture nuageuse, des régimes des vents, de l'hydrologie locale, de l'adaptation des sols, des précipitations et de la température sont des exemples de changements climatiques susceptibles d'affecter l'efficacité à court ou à long terme des projets d'énergie renouvelable. Les vulnérabilités rencontrées dans le développement énergétique à petite échelle concernent la manière dont les sources d'énergie elles-mêmes sont influencées par un changement climatique:

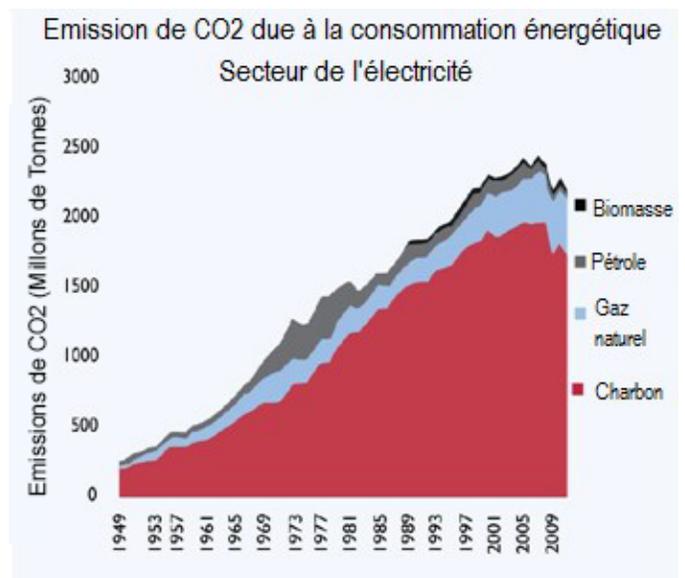
- Pour **les projets d'énergie solaire**, des impacts marginaux pourraient résulter des changements de la couverture nuageuse, de la vapeur d'eau atmosphérique, des précipitations, de la turbidité et de l'irradiation solaire altérant la ressource solaire disponible dans le monde ou dans certaines zones.
- Pour **les projets géothermiques**, il est peu probable que le changement climatique ait un impact perceptible.

- **Les matières premières de bioénergie** sont sensibles aux changements climatiques tels que les augmentations ou les diminutions des précipitations, les changements de température ou la prévalence accrue d'événements météorologiques extrêmes (par exemple, sécheresse ou inondation). La croissance des plantes pourrait être stimulée par des modifications des conditions météorologiques locales, augmentant ainsi la charge d'alimentation disponible. Alternativement, les ressources en eau pourraient devenir de plus en plus rares menaçant l'approvisionnement en eau pour les communautés locales et endommager la production agricole. Les Directives environnementales sectorielles sur l'agriculture de l'USAID ([The USAID Sector Environmental Guideline on Agriculture](#)) fournissent des détails supplémentaires sur les impacts du changement climatique sur la production agricole.
- Les changements climatiques sur les précipitations et la température pourraient avoir une incidence sur **l'hydroélectricité à petite échelle**, car les modifications du débit des rivières affectent le potentiel énergétique du projet. Ces risques peuvent être encore exacerbés par les changements de sédimentation résultant du débit réduit (ou accru), modifiant à son tour le potentiel de charge des réservoirs ou l'efficacité des turbines. De plus, des phénomènes météorologiques extrêmes, tels que la sécheresse ou les inondations, pourraient avoir des effets nocifs importants sur les petits projets hydroélectriques, ce qui risquerait de détruire le projet ou de réduire considérablement le potentiel énergétique.
- **Les projets d'énergie éolienne** pourraient être influencés par les fluctuations des régimes de vent régionaux, ce qui pourrait entraîner une augmentation ou une diminution des ressources éoliennes locales. De plus, des phénomènes météorologiques extrêmes, tels que des vitesses de vent anormalement élevées, pourraient constituer un risque pour les petites turbines.

Cependant, malgré le risque d'impacts négatifs sur l'efficacité du projet, lorsqu'ils sont mis en œuvre avec une planification et une considération appropriée, les projets d'énergie renouvelable à petite échelle peuvent servir de mesure d'atténuation significative contre les impacts les plus marqués du changement climatique.

MINIMISER LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GHG)

Le potentiel de réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre est un moteur fondamental de la tendance à abandonner les combustibles fossiles traditionnels pour se tourner vers des sources d'énergie alternatives telles que celles qui sont examinées dans cette directive.



Source: U.S. EPA (données récupérées en Novembre 2013)

Au niveau macro, l'EPA des États-Unis estime que la production d'électricité représente 26% des émissions mondiales de GHG, dont la presque totalité provient de l'électricité à base de combustibles fossiles. Le graphique à droite, qui fournit une comparaison des émissions de dioxyde de carbone (CO2)

entre les sources d'énergie dans le secteur de l'énergie électrique, le montre clairement. Cela dit, la baisse des émissions globales de dioxyde de carbone provenant des sources d'électricité entre 2007 et 2011 reflète les effets positifs des tendances mondiales sur les sources d'énergie renouvelables et les technologies de combustibles fossiles plus propres.

Dans le contexte du développement, les tendances mondiales en faveur des projets d'énergie renouvelable à petite échelle favorisent de nouvelles réductions des émissions de GHG - soit par rapport aux sources d'énergie préexistantes ou à d'autres scénarios d'électrification. Les projets d'énergie éolienne et solaire à petite échelle émettent peu ou pas de GHG. D'autres projets d'énergie renouvelable, tels que les petites centrales hydroélectriques et la bioénergie, peuvent également soutenir des réductions significatives, bien que les changements dans les considérations sur l'affectation des terres doivent être correctement pris en compte lors de la planification des activités visant à réduire les GHG nets pendant la vie d'un projet donné.

De plus en plus, les systèmes d'électrification des énergies renouvelables hors réseau et à petite échelle tels que les systèmes solaires domestiques, les petits projets hydroélectriques ou les microcentrales hydroélectriques, la digestion du biogaz et les petites et moyennes éoliennes peuvent concurrencer économiquement avec l'électrification traditionnelle des combustibles fossiles.

CONSIDÉRATIONS DE COÛT POUR LA DURABILITÉ DU PROJET

APERÇU

Les baisses de coûts conjuguées à l'augmentation de l'efficacité des turbines, des panneaux photovoltaïques, des gazéificateurs de bioénergie et des systèmes géothermiques comblent l'écart entre les coûts des solutions de rechange renouvelables et les systèmes énergétiques conventionnels.

Les marchés de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire, en particulier, sont optimistes pour l'avenir de l'industrie des énergies renouvelables. A travers l'Afrique, l'énergie éolienne et solaire - ainsi que l'hydroélectricité - devraient connaître des gains importants. Une croissance similaire est attendue dans les principales économies émergentes d'Amérique latine (par exemple au Brésil) et d'Asie (par exemple en Chine et en Inde)

Cependant, dans les marchés moins développés et à plus petite échelle, l'adoption de solutions de rechange aux énergies renouvelables est freinée par leurs coûts d'investissement initiaux, leurs périodes de remboursement, leur fiabilité et leur variabilité. Ces préoccupations affectent les perceptions du potentiel éolien et, dans une moindre mesure, de l'hydroélectricité et de l'énergie solaire. Dans une certaine mesure, ils existent même pour les marchés développés à plus grande échelle.

La question de l'évolutivité des alternatives aux énergies renouvelables est peut-être encore plus pressante. Bien que les projets à petite échelle puissent répondre efficacement aux besoins d'un individu, d'une famille, d'un magasin, d'une école, d'une clinique ou d'une communauté, les projets doivent : 1) continuer d'améliorer la compétitivité des coûts par rapport aux sources d'énergie traditionnelles ; 2) les gouvernements locaux doivent adopter des alternatives d'énergie renouvelable avec des initiatives politiques favorables.

LE COÛT DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

Au-delà de l'environnement politique, afin d'évaluer efficacement le coût potentiel d'un projet d'énergie renouvelable, les responsables de la mise en œuvre doivent tenir compte de divers facteurs associés aux options énergétiques disponibles. Les facteurs essentiels que les exécutants doivent considérer comprennent :

- Coût direct de la source d'énergie (par exemple, biomasse)
- Qualité de la source d'énergie
- Montant de la ressource disponible
- Taille du projet énergétique (Quelle quantité d'énergie le projet doit-il produire initialement ? À quelle échelle?)
- Les dépenses en immobilisations initiales (par exemple, la construction d'une centrale électrique, l'achat de génératrices et de turbines)
- Coûts de fonctionnement et d'entretien des machines
- Coût du travail pour construire et faire fonctionner l'équipement
- Efficacité de la technologie utilisée
- Durée de vie prévue du projet

Selon les considérations propres au site, les coûts associés à chacun de ces facteurs contiennent un élément de variabilité. Pour les projets hydroélectriques, la quantité et la variabilité des ressources en eau varient d'un site à l'autre ; les chaînes de valeur peuvent être faibles ou inexistantes, ce qui rend l'achat de certaines technologies beaucoup plus onéreux que dans d'autres endroits; Dans certains pays ou régions, les matières premières de la biomasse peuvent croître avec un potentiel énergétique beaucoup plus élevé que dans d'autres.

Le tableau du coût actualisé de l'énergie (LCOE) ci-dessous fournit le LCOE - ou coût par kilowattheure (kWh) d'énergie produite en 2013 - pour les technologies discutées dans cette directive, en considérant l'éventail des facteurs discutés ci-dessus. Le LCOE donne les estimations de coûts sous forme de gammes pour tenir compte de la variabilité des coûts sur le site.

UN ENVIRONNEMENT POLITIQUE FAVORABLE

Les politiques locales existantes concernant l'énergie renouvelable peuvent jouer un rôle important dans le succès à long terme d'un projet. À la plus petite échelle, cela signifie souvent s'assurer que les questions d'utilisation des terres sont clairement établies avant la mise en œuvre du projet; que la participation aux bénéfices entre les investisseurs et les petits exploitants ou les gestionnaires de projets sur place soit bien comprise; et les coûts d'accès à l'électricité pour la communauté (s'ils font partie de la conception du projet) sont révélés dès le début du projet.

Cependant, à mesure que les projets prennent de l'ampleur, les possibilités de mécanismes d'appui aux politiques augmentent. Sur le plan international, la solution politique la plus commune pour promouvoir les énergies renouvelables sont **les tarifs de rachat**, qui établissent des accords de prix à long terme destinés à compenser les ménages, les entreprises ou les municipalités pour la production d'énergie renouvelable. Ces accords de prix ont tendance à être plus concluants lorsqu'ils sont conçus pour a) compenser le prix de la production d'énergie renouvelable et b) garantir un bénéfice supplémentaire à ceux qui produisent l'électricité. D'autres outils politiques efficaces ont inclus **des normes de portefeuille renouvelables**, qui exigent qu'un certain pourcentage de l'électricité du réseau provienne de sources renouvelables, ou **des rabais directs, des subventions ou des crédits d'impôt**, qui actualisent les coûts d'investissement pour les énergies renouvelables.

Le succès croissant des projets d'énergie renouvelable à petite et à grande échelle dans les marchés émergents pourrait créer une demande accrue d'environnements politiques favorables. Comprendre les politiques - ou les systèmes - en place et les options disponibles peuvent contribuer grandement à favoriser un avenir énergétique durable pour les bénéficiaires du projet.

COUT ACTUALISE DE L'ÉNERGIE (LCOE) DE CERTAINES OPTIONS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE¹⁵

RESSOURCE	TECHNOLOGIE	TAILLE TYPIQUE DE L'APPAREIL (KW)	INVESTISSEMENT (USD/KW)	COUT O&M, VARIABLE ANNUELLE FIXE (USD/KW) ET/OU VARIABLE (NON- ALIMENT) VARIABLE (US CENTS/KWH)	RECETTE DE PRODUITS (US CENTS/ KWH)	COUT DE FABRICATI ON (USD/GJ)	EFFICACITE DE CONVERSION DES MATIERES PREMIERES (%)	FACTEUR DE CAPACITE (%)	VIE DE PROJET TYPIQUE (ANNEES)	LCOE US\$/KWH		
										TAUX DE REDUCTION		
										3%	7%	10%
Bio-énergie	Production combinée de chaleur et d'électricité (CHP) (Cycle de Rankine Organique)	650-1,600	6,500-9,800	59-80 USD/kW 4.3-5.1 US cents/kWh	7.7	1.25-5	14	55-68	20	8.6-26	12-32	15-37
	CHP (Turbine à vapeur)	2,500-10,000	4,100-6,200	54 USD/kW et 3.5 US cents/kWh	5.4	1.25-5	18	55-68	20	6.2-18	8.3-22	10-26
	CHP (moteur à combustion interne à gazéification)	2,200-13,000	1,800-2,100	65-71 USD/kW et 1.1.-1.9 US cents/kWh	1.0-4.5	1.25-5	28-30	55-68	20	2.1-11	3.0-13	3.8-14
	Gazéificateurs de biomasse	20-5,000KW	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8.0-12	N/A
Energie Solaire Directe	PV (Toiture résidentielle)	4-100	3,700-6,800	19-110 USD/kW	N/A	N/A	N/A	12.0-20	20-30	12-53	18-71	23-86
	PV (Toiture Commerciale)	20-50	3,500-6,600	18-100 USD/kW	N/A	N/A	N/A	12.0-20	20-30	11-52	17-69	22-83
Energie Géothermique	Industries à cycle binaire	1,000-10,000+	2,470-6,100	150-190 USD/kW	N/A	N/A	N/A	60-90	25-30	N/A	7-14	N/A
	Chauffage d'espace (Bâtiments)	100-10,000+	400-1,200	N/A	N/A	N/A	80-90	50-90	25-30	N/A	10-27	N/A
	Pompes à chaleur géothermiques	10-350	500-4,000	N/A	N/A	N/A	N/A	25-30	25-30	N/A	7-23	N/A

¹⁵ Les chiffres du LCOE (Coût actualisé de l'énergie) sont principalement tirés de l'annexe III du rapport spécial du GIEC sur les énergies renouvelables (http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Annex_III.pdf). Lorsque des informations supplémentaires étaient disponibles, le tableau a été complété par les données disponibles dans le tableau 2 de la section 2 du Rapport de situation mondial 2013 de REN 21).

RESSOURCE	TECHNOLOGIE	TAILLE TYPIQUE DE L'APPAREIL (KW)	INVESTISSEMENT (USD/KW)	COUT O&M, VARIABLE ANNUELLE FIXE (USD/KW) ET/OU VARIABLE (NON- ALIMENT) VARIABLE (US CENTS/KWH)	RECETTE DE PRODUITS (US CENTS/ KWH)	COUT DE FABRICATI ON (USD/GJ)	EFFICACITE DE CONVERSION DES MATIERES PREMIERES (%)	FACTEUR DE CAPACITE (%)	VIE DE PROJET TYPIQUE (ANNEES)	LCOE US¢/KWH		
										TAUX DE REDUCTION		
										3%	7%	10%
Hydro- électricité	Réservoir sous réseau /RoR	1,000-10,000+	2,000-4,000	N/A	N/A	N/A	N/A	30-60	40-80	1.1-7.8	1.8-11	2.4-15
	Réservoir hors-réseau/rural (RoR)	0.1-1,000	1,175-3,500	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	40-80	N/A	5.0-40	N/A
Eolienne	Eolienne à petite échelle	0/1-100	10,000 (1 kW) 5,000 (5 kW)	N/A	N/A	N/A	N/A	20-40	20	N/A	15-20	N/A
	Turbine éolienne domestique	0.1-3.0	2,500 (250 kW)	N/A	N/A	N/A	N/A	20-40	20	N/A	15-35	N/A

Source: REN21 Global Status Report, 2013; IPCC, 2011

ANNEXE I MODÈLES DE MESURES D'ATTÉNUATION ET DE SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT (EMMP)

ATTÉNUATION (TABLES DISTINCTES POUR LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION, L'EXPLOITATION ET LA FERMETURE)

EXEMPLE: PETITES MACHINES D'ENERGIE EOLIENNE

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	MESURE D'ATTÉNUATION	RESPONSABLES	BUDGET
<p>Impact 1:</p> <p>Menace pour la biodiversité: Les éoliennes sur terre peuvent nuire aux espèces locales, notamment les oiseaux et les chauves-souris. Ils peuvent entrer en collision avec des turbines en fonctionnement ou être influencés en vol par les fluctuations de pression d'air causées par les pales tournantes. Les turbines, ou leur installation, peuvent aussi altérer ou détruire des habitats animaux ou végétaux.</p>	<p>Évitez les projets dans des zones écologiquement sensibles (c'est-à-dire avec des espèces d'oiseaux et / ou de chauves-souris en voie de disparition) autant que possible.</p> <p>Concevoir des turbines pour tenir compte des comportements des espèces locales (par exemple, être inactif lorsque les vitesses du vent sont plus faibles).</p>	(Exemple planificateur de paysage, spécialiste de l'environnement).	---
Impact 2:	---	---	---
Impact 3:	---	---	---

SUIVI

EXEMPLE: PETITE MACHINES D'ENERGIE EOLIENNE

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	MESURE D'ATTENUATION	MESURE DE SUIVI	ETAPE	RESPONSABLE	BUDGET
<p>Impact 1:</p> <p>Menace sur la biodiversité</p> <p>Les éoliennes terrestres peuvent nuire aux espèces locales, notamment les oiseaux et les chauves-souris. Ils peuvent entrer en collision avec des turbines en fonctionnement ou être influencés en vol par les fluctuations de pression d'air causées par les pales tournantes. Les turbines, ou leur installation, peuvent aussi altérer ou détruire des habitats animaux ou végétaux.</p>	<p>Sélectionner les sites où la présence d'espèces susceptibles d'être touchées est limitée ou nulle ; éviter les projets dans des zones écologiquement sensibles (c'est-à-dire avec des espèces d'oiseaux et / ou de chauves-souris en voie de disparition) dans la mesure du possible.</p> <p>Concevoir des turbines pour tenir compte des comportements des espèces locales (ex : être inactif lorsque les vitesses du vent sont plus faibles).</p>	<p>Enquête de base sur les espèces de la zone susceptibles d'être affectées.</p> <p>Nombre d'espèces blessées ou tuées après la mise en œuvre du projet.</p> <p>Développer une évaluation comparative des technologies disponibles, en évaluant pourquoi la conception de la turbine sélectionnée est la plus efficace pour la zone et le besoin.</p>	<p>Planification & Conception/Choix du Site</p> <p>Operations & Maintenance</p> <p>Planification & Conception</p>	<p>(ex. Spécialiste en environnement)</p> <p>(ex. Spécialiste en environnement)</p> <p>(ex. ingénieur principal)</p>	<p>(ex. \$1000)</p>
Impact 2:	---	---	---	---	---
Impact 3:	---	---	---	---	---

ANNEXE II RÉFÉRENCES

ÉNERGIE SOLAIRE

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

Doig, A. (2007, October 2). *Solar Photovoltaic Energy*. Retrieved October 7, 2013, from Practical Action: <http://practicalaction.org/solar-photovoltaic-energy>

Environmental Impacts of Solar Power. (2013, March 5). Retrieved October 4, 2013, from Union of Concerned Scientists : http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html

European Parliament, Science and Technology Options Assessment (STOA), Future Metal Demand from Photovoltaic Cells and Wind Turbines, Directorate General for Internal Policies Directorate G: Impact Assessment, February 2012, pp. 25-26.

[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2011/471604/IPOL_JOIN_ET\(2011\)471604_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/JOIN/2011/471604/IPOL_JOIN_ET(2011)471604_EN.pdf)

Frankl, Paolo, and Stefan Nowak. *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*. Paris: International Energy Agency.

How Solar Energy Works. (2009, December 16). Retrieved October 4, 2013, from Union of Concerned Scientists: http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/how-solar-energy-works.html

Maupoux, M. (2012, May). *Practical Action*. Retrieved October 11, 2013, from Solar (PV) Water Pumping: <http://practicalaction.org/solar-photovoltaic-waterpumping-1>

Punter, A. (2011, November). *Solar Thermal Energy*. Retrieved October 7, 2013, from Practice Action: <http://practicalaction.org/solar-thermal-energy>

Solar Energy Development Programmatic EIS. (n.d.). Retrieved October 4, 2013, from Solar Energy Development Environmental Considerations: <http://solareis.anl.gov/guide/environment/>

Technology: Photovoltaic (PV) Systems. (n.d.). Retrieved October 7, 2013, from Powering Health: <http://www.poweringhealth.org/index.php/topics/technology/solar-pv>

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 289-296.

Wamukonya, N. (2007). Solar home system electrification as a viable technology option for Africa's development. *Energy Policy*, 6-14.

Watkins, T. (2013, January 20). EarthSpark uses micro-grid, pre-pay electricity to power homes in Haiti. *Haiti Rewired*.

ÉNERGIE EOLIENNE

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

Alliance for Rural Electrification. (2012). *The Potential of Small and Medium Wind Energy in Developing Countries*.

Brussels: Alliance for Rural Electrification.

Ashden. (2013). *Ashden Case Study: Cabeolica, Cape Verde*. Retrieved November 1, 2013, from Ashden Awards: <http://www.ashden.org/winners/cabeolica13>

Noble, N. (2008, February). *Practical Action*. Retrieved November 1, 2013, from Windpumping: <http://practicalaction.org/wind-pumping-1>

REN21: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*.

Paris, France: REN21 Secretariat.

Roland, S. (2013, April 1). *Promoting Small Wind in Developing Markets*. Retrieved November 1, 2013, from Renewable Energy World: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/04/promoting-small-wind-in-developing-markets>

Wheldon, D. A. (2013, September 2013). What can a small island teach us about wind power? England. Retrieved 11 1, 2013, from <http://www.ashden.org/blog/what-small-island-can-teach-rest-world-about-wind-power>

Wiemann, M. (2013, May 10). *Small Wind in a Developing World*. Retrieved November 1, 2013, from Renewable Energy Focus: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/32333/small-wind-in-a-developing-world/>

PETITE CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

State Government Victoria Department of Environment and Primary Industries. (2011, December 10).

Environmental Impact of Dams, Weirs & Pumping. Retrieved November 1, 2013, from Water in the Environment: <http://www.water.vic.gov.au/environment/rivers/flows/impacts>

U.S. Department of Energy. (2001, July). *Small Hydropower Systems*. Retrieved November 1, 2011, from National Renewable Energy Laboratory: <http://www.nrel.gov/docs/fy01osti/29065.pdf>

ÉNERGIE GEOTHERMIQUE

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

Andritsos, N, P Dalampakis, and N Kolios. "GeoHeat Center." *Use of Geothermal Energy for Tomato Drying*. March 2003. <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull24-1/art3.pdf> (accessed October 29, 2013).

Brown, Valerie J. "Industry Issues: Putting the Heat on Gas." *Environmental Health Perspectives*, 2007.

Clark, Corrie, John Sullivan, Chris Harto, Jeongwoo Han, and Michael Wang. "Life Cycle Environmental Impacts of Geothermal Systems." *Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, California, 2012.

"Enhanced Geothermal Systems." *Environmental Impacts, Attributes, and Feasibility Criteria*.

http://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/egs_chapter_8.pdf (accessed October 30, 2013).

Fridleifsson, Ingvar B. "Geothermal energy for the benefit of the people." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2001: 299–312.

Geothermal Energy Association. *Geothermal Basics- Power Plant Costs*. http://www.geothermal.org/geo_basics_plant_cost.aspx (accessed October 30, 2013).

Geothermal Power Plants — *Minimizing Land Use and Impact*. January 17, 2006.

http://www1.eere.energy.gov/geothermal/geopower_landuse.html (accessed October 30, 2013).

Goosen, Mattheus, Hacene Mahmoudi, and Noreddine Ghaffour. "Water Desalination Using Geothermal Energy." *Energies*, 2010.

Lund, John W, and Derek H Freeston. "World-wide Direct Uses of Geothermal Energy 2000." *World Geothermal Congress*. Tohoku, Japan, 2000.

Lund, John W. *Direct Heat Utilization of Geothermal Energy*.

<http://www.oregon.gov/energy/RENEW/Geothermal/docs/directheat03-USa.pdf> (accessed October 30, 2013).

"GeoHeat Center." *Small Geothermal Power Project Examples*. June 1999.

<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull20-2/art2.pdf> (accessed November 1, 2013).

National Geographic. *Geothermal Energy: Tapping the Earth's Heat*.

<http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/geothermal-profile/#close-modal> (accessed November 1, 2013).

National Renewable Energy Laboratory. *Geothermal Energy Basics*. May 30, 2012.

http://www.nrel.gov/learning/re_geothermal.html (accessed October 30, 2013).

BIOÉNERGIE: BIOGAZ

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

Aberdeen, D.-U. o. (2011). The Potential of Small-Scale Biogas Digesters to Alleviate Poverty and Improve Long Term Sustainability of Ecosystem Services in Sub-Saharan Africa.

Bond, T., & Templeton, M. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development.

Brown, V. (2006). Biogas: a Bright Idea for Africa. Environmental Health Perspectives.

Cookstoves, G. A. (2011). Igniting Change: A Strategy for Universal Adoption of Clean Cookstoves and Fuels.

Differ, A *Rough Guide to Clean Cookstoves* ,
http://www.differgroup.com/Portals/53/Analysis/Cookstoves_PartI_Final.pdf, March 2012, p.3

Holm Nielson, J., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology.

Kartha, S., & Larson, E. (2000). Bioenergy Primer: Modernised Biomass Energy for Sustainable Development . Denmark: United Nations Publications.

Kartha, S., & Larson, E. (2000). Modernised Biomass Energy for Sustainable Development. Denmark: United Nations Publications.

[Renewable Nature Gas \(Biogas\). \(2013\). Retrieved from Energy Efficiency & Renewable Energy: http://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging_biogas.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging_biogas.html)

Steets, Julia. Climate Change: *From Cows to Kilowatts – A Case Study in Successful Technology Transfer*. April 2008. http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2008/02/article_0002.html (accessed October 25, 2013).

Sustainable Energy Project Support: Powering Milk Chilling Units with Biogas. (2013). Retrieved October 2, 2013, from WISIONS of Sustainability: <http://www.wisions.net/projects/powering-milk-chilling-units-with-biogas%20-%20project69>

[The Issues: Environment. \(2012\). Retrieved from Global Alliance for Clean Cookstoves: http://www.cleancookstoves.org/our-work/the-issues/environment.html](http://www.cleancookstoves.org/our-work/the-issues/environment.html)

BIOÉNERGIE: BIOMASSE SOLIDE

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

Aberdeen, D.-U. o. (2011). The Potential of Small-Scale Biogas Digesters to Alleviate Poverty and Improve Long Term Sustainability of Ecosystem Services in Sub-Saharan Africa.

Bond, T., & Templeton, M. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development.

Brown, V. (2006). Biogas: a Bright Idea for Africa. Environmental Health Perspectives.

Cookstoves, G. A. (2011). Igniting Change: A Strategy for Universal Adoption of Clean Cookstoves and Fuels.

Cookstove Technology. <http://www.cleancookstoves.org/our-work/the-solutions/cookstove-technology.html> (accessed October 25, 2013).

Holm Nielson, J., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology.

Kartha, S., & Larson, E. (2000). Bioenergy Primer: Modernised Biomass Energy for Sustainable Development . Denmark: United Nations Publications.

Kartha, S., & Larson, E. (2000). Modernised Biomass Energy for Sustainable Development. Denmark: United Nations Publications.

Renewable Nature Gas (Biogas). (2013). Retrieved from Energy Efficiency & Renewable Energy: http://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging_biogas.html

Sustainable Energy Project Support: Powering Milk Chilling Units with Biogas. (2013). Retrieved October 2, 2013, from WISIONS of Sustainability: <http://www.wisions.net/projects/powering-milk-chilling-units-with-biogas%20-%20project69>

The Issues: Environment. (2012). Retrieved from Global Alliance for Clean Cookstoves: <http://www.cleancookstoves.org/our-work/the-issues/environment.html>

BIOÉNERGIE : BIO CARBURANTS

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

FACT Foundation. (2011). *End Report FACT pilot project "Jatropha oil for local development in Mozambique" 2007- 2010*. FACT Foundation.

Food and Agriculture Organization. (2013). *Biofuels and the Sustainability Challenge: A global assessment of sustainability issues, trends, and policies for biofuels and related feedstocks*. Rome: Trade and Markets Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

International Energy Agency. (2008, December 10). *From 1st- To 2nd- Generation Biofuel Technologies: An Overview of Current Industry and RD&D Activities*. Paris: OECD.

International Energy Agency. (2013, July). *Tracking Clean Energy Progress 2013*. Paris: OECD/IEA.

Portale, E. (2012). *Socio-Economic Sustainability of Biofuel Production in Sub-Saharan Africa: Evidence from a Jatropha Outgrower Model in Rural Tanzania*. Cambridge: Harvard Kennedy School Belfer Center for Science and International Affairs.

Wang, M. Q. (2011). Energy and Greenhouse Gas Emission Effects of Corn and Cellulosic Ethanol with Technology Improvements and Land Use Changes. *Biomass & Bioenergy*, 11.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ETUDE D'IMPACT

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

International Association for Impact Assessment (IAIA). FasTips #3. February 2013. Climate Smart Decisions. http://www.iaia.org/publicdocuments/special-publications/fast-tips/Fastips_3%20Climate%20Smart%20Decisions.pdf

LE CONCEPT DES EFFETS CUMULATIFS ENVIRONNEMENTAUX

(Voir les références annotées pour des ressources supplémentaires)

See Canter, Larry and Bill Ross, *State of Practice of Cumulative Effects Assessment and Management: The Good, The Bad and The Ugly*, (2008).17pp

http://www.iaia.org/iaia08calgary/documents/Keynote_AddressCanterandRoss.pdf

IAIA Impact Assessment Wiki, *Cumulative Effects Assessment and Management (CEAM)*

Modified 22 Sep 2009 by Bridget John. <http://www.iaia.org/iaia/wiki/cea.ashx>