



RETScreen® International

Centre d'aide à la décision
sur les énergies propres

e-Formation

Module de formation

NOTES DU FORMATEUR

ANALYSE DE PROJETS D'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

COURS D'ANALYSE DE PROJETS D'ÉNERGIES PROPRES

Ce document donne la transcription de la présentation orale (voix et acétates) pour ce module de formation et peut être utilisé comme notes du formateur. Cette présentation orale donne une vue d'ensemble de cette technologie et un aperçu des algorithmes utilisés dans le modèle RETScreen. Le matériel de formation est disponible gratuitement sur le site Web du Centre d'aide à la décision sur les énergies propres RETScreen® International : www.etscreen.net.

Support à la clientèle
RETScreen®

www.etscreen.net

rets@nrcan.gc.ca



+1-450-652-5177

+1-450-652-4621

This publication is also
available in English.

Centre de la technologie
de l'énergie de CANMET
- Varennes (CTEC)

En collaboration avec:



Exonération

Cette publication, diffusée à des fins uniquement didactiques, ne reflète pas nécessairement le point de vue du gouvernement du Canada et ne constitue en aucune façon une approbation des produits commerciaux ou des personnes qui y sont mentionnées, quels qu'ils soient. De plus, pour ce qui est du contenu de cette publication, le gouvernement du Canada, ses ministres, ses fonctionnaires et ses employés ou agents n'offrent aucune garantie et n'assument aucune responsabilité.

© Ministre de Ressources
naturelles Canada 2002 - 2004.

ACÉTATE 1 : Analyse de projets d'installation photovoltaïque

Ceci est le module de formation *Analyse de projets d'installation photovoltaïque* du cours d'analyse de projets d'énergies propres de RETScreen International. Dans cette présentation, nous examinerons les installations photovoltaïques qui convertissent directement le rayonnement solaire en électricité, ainsi que leurs applications. On voit sur la photo un exemple d'une telle installation photovoltaïque sur le toit du Centre de la technologie de l'énergie de CANMET à Varennes, au Canada.



Acétate 1

ACÉTATE 2 : Objectifs

Ce module vise 3 objectifs : le premier est de présenter les principes de base d'une installation photovoltaïque; le second de décrire les enjeux importants à considérer lors de l'analyse d'un projet photovoltaïque; et le dernier de présenter le modèle RETScreen International pour projets d'installation photovoltaïque.



Acétate 2

ACÉTATE 3 : Qu'est-ce que les installations PV fournissent?

Un système photovoltaïque, aussi appelé système PV, produit de l'électricité. Des modules photovoltaïques comme les panneaux bleutés que l'on est en train d'installer sur ces photos génèrent du courant électrique lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil. Cette énergie peut aussi bien combler des besoins isolés d'électricité qu'être envoyée sur un réseau électrique, servir à alimenter des appareils d'aussi faible puissance qu'une calculatrice ou une horloge, que de contribuer à alimenter les grands réseaux électriques nationaux.



Acétate 3



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

ACÉTATE 3 : Qu'est-ce que les installations PV fournissent? (suite)

Les modules photovoltaïques génèrent du courant continu. Aussi, selon les applications, un système photovoltaïque comprendra des appareils permettant de convertir l'électricité en courant alternatif, nécessaire au fonctionnement des appareils les plus communs. Les systèmes photovoltaïques autonomes comprendront également des accumulateurs électriques permettant de stocker l'électricité produite pendant les heures ensoleillées pour la rendre disponible la nuit et par temps nuageux.

Les systèmes photovoltaïques permettent également le pompage de l'eau pour alimenter en eau potable des communautés et des troupeaux, à partir de puits ou de nappes d'eau éloignées d'une source électrique. Les systèmes de pompe à eau ont la particularité de pouvoir facilement stocker le produit auquel on est intéressé dans un réservoir, ce qui est plus facile que de stocker de l'électricité.

Les communautés isolées apprécient les nombreux avantages des systèmes photovoltaïques, comme on le voit dans ce village du Bengale occidental en Inde.

Tout d'abord les modules photovoltaïques sont la source d'électricité la plus fiable parmi les systèmes électrogènes. Ils n'ont pas de pièce mobile, et n'ont besoin d'aucune surveillance pendant plusieurs dizaines d'années. Ceci est un atout dans des régions où la main d'œuvre spécialisée n'existe pas à un coût abordable. De tels endroits ne se trouvent pas uniquement dans les pays en voie de développement mais aussi en mer et dans l'espace pour l'exploration duquel les premiers systèmes photovoltaïques ont été développés.

Les systèmes photovoltaïques ont peu de composants et s'entretiennent facilement. Ils sont aisés à utiliser même par des utilisateurs ayant peu de compétences techniques, à la différence d'un groupe électrogène à moteur thermique.

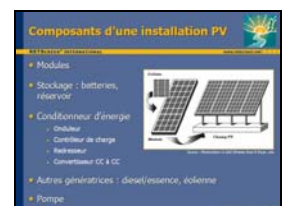
Les systèmes photovoltaïques sont modulaires, c'est-à-dire que l'on peut facilement ajuster le nombre de modules photovoltaïques en fonction des besoins d'électricité et de l'ensoleillement disponible. De plus, de tels modules existent dans des tailles différentes. Ainsi, un ménage peut d'abord se contenter d'un simple kit d'éclairage comprenant un seul module, ce qu'il peut se permettre d'acquérir. Si quelques années plus tard, un téléviseur est acheté, il suffira alors d'ajouter un autre module photovoltaïque et/ou un autre accumulateur électrique.

Un système photovoltaïque est attrayant : il offre une image « Hi-Tech » et écologique dans les pays industrialisés alors que dans les pays en voie de développement, il est un signe de modernité et contribue à diminuer la fascination et l'attrance des grands centres urbains.

Enfin, ces systèmes sont très appréciés des utilisateurs pour leur silence, pour l'absence d'odeurs générées et aussi pour leur faculté de fournir de l'éclairage sans chaleur, un atout dans les pays chauds.

ACÉTATE 4 : Composants d'une installation PV

Du point de vue du bâtiment, le composant principal d'un système photovoltaïque est le champ photovoltaïque, c'est-à-dire l'ensemble des modules photovoltaïques.



Acétate 4

ACÉTATE 4 : Composants d'une installation PV (suite)

Un module photovoltaïque est formé de cellules photovoltaïques raccordées et scellées ensemble. Ces cellules convertissent directement la lumière en électricité dans un matériau semi-conducteur qui se présente sous la forme de minces galettes ou de bandes de films minces. Le semi-conducteur le plus courant utilisé pour fabriquer des cellules photovoltaïques est le silicium, un matériau abondant dans la nature, dans le sable par exemple.

En plein ensoleillement, une cellule photovoltaïque typique de 10 x 10 cm produira environ 3 A sous 0,5 V soit une puissance de 1,5 W. En raccordant 30 cellules en série, on obtiendra un module pouvant générer 3 A en 15 V soit près de 50 W, ce qui permet de répondre à certains besoins. Pour former un module, les 30 cellules seront encapsulées sous une plaque transparente, en verre, par exemple.

Lorsqu'on a besoin de plus de puissance, on utilise plusieurs modules, formant ce que l'on appelle un champ photovoltaïque orienté de manière à optimiser la quantité d'énergie solaire reçue, c'est-à-dire par exemple un toit incliné face au sud, dans l'hémisphère Nord.

Comme un module photovoltaïque ne génère de l'électricité que pendant la journée, et en produit moins par temps nuageux, la capacité de production de puissance du champ photovoltaïque, d'un système autonome, doit excéder les besoins, et le surplus produit par temps ensoleillé sera stocké dans des accumulateurs électriques ou encore dans un réservoir pour un système de pompe à eau. Environ 90% des accumulateurs utilisés dans les systèmes photovoltaïques sont de type acide-plomb à cause de leur moindre coût et de leur disponibilité. Les accumulateurs électriques ont besoin d'être remplacés plusieurs fois au cours de la durée de vie d'un module photovoltaïque et demandent de l'entretien comme l'ajout d'eau ou de surveiller les connexions électriques.

Un système photovoltaïque comprend également un système électronique de contrôle et de régulation de la puissance, de manière à ce que les niveaux de courant et de tension produits correspondent à ceux de la charge. De tels systèmes de contrôle comprennent également un onduleur, un appareil qui permet de convertir le courant continu en courant alternatif, ce qui permet alors d'utiliser des appareils électriques communs, conçus normalement pour fonctionner sur le réseau électrique ou encore fournir cette électricité au réseau.

Dans les systèmes autonomes, on utilise un régulateur de charge, un appareil qui évite la surcharge des accumulateurs électriques lorsque ceux-ci ont atteint leur pleine capacité. Quelquefois, on utilise un redresseur, un appareil qui effectue la fonction inverse d'un onduleur, à savoir de produire du courant continu à partir de courant alternatif, par exemple, pour compléter, à partir du réseau ou d'un groupe électrogène, la recharge de batteries ou l'alimentation de certains appareils en courant continu, en complément de l'énergie produite par le champ photovoltaïque. Un système de régulation de puissance peut également comprendre un convertisseur de courant continu qui permet de changer la tension en courant continu (comme un transformateur le fait en courant alternatif). Grâce à un tel appareil, on peut soit optimiser la tension de production du champ photovoltaïque de manière à ce qu'il produise le maximum possible de puissance électrique, soit augmenter temporairement la puissance fournie à un moteur électrique pendant son démarrage.

ACÉTATE 4 : Composants d'une installation PV (suite)

Un champ photovoltaïque n'est pas nécessairement la seule source d'énergie d'un système photovoltaïque. Il peut y avoir également un groupe électrogène diesel, à essence ou au propane qui prendra la relève lors des périodes prolongées sans ensoleillement. Aux latitudes moyennes, le vent est souvent plus présent pendant les saisons les plus nuageuses. L'utilisation d'une éolienne en complément du champ photovoltaïque peut alors être très judicieuse. Lorsqu'un système photovoltaïque comprend plusieurs sources d'énergie on l'appelle un système hybride.

Finalement, dans un système de pompe à eau, la pompe est bien sûr un composant essentiel.

ACÉTATE 5 : Systèmes raccordés au réseau

Les systèmes photovoltaïques peuvent être classés en 3 catégories : ceux qui sont raccordés au réseau électrique; les systèmes d'alimentation électrique autonome; et les systèmes de pompage d'eau.

Un réseau électrique est un ensemble de consommateurs et de centrales électriques, tous reliés par des lignes de transport et de distribution de l'électricité sur un territoire donné. Un champ photovoltaïque peut faire partie des installations qui fournissent de l'énergie au réseau électrique, soit sous la forme de larges installations pouvant s'apparenter à une petite centrale électrique, soit de manière décentralisée à partir de plusieurs petites installations.

L'approche centralisée permet de travailler avec de plus grosses installations et de réaliser des économies d'échelle. De plus, elle est plus familière aux distributeurs d'électricité habitués à travailler avec des centrales électriques classiques au gaz, au charbon, nucléaires ou hydroélectriques, au niveau du contrôle et des coûts d'exploitation.

Cependant cette approche est discutable lorsque l'on considère la fiabilité, la simplicité et la modularité d'une installation photovoltaïque. De plus, les systèmes photovoltaïques décentralisés peuvent être installés sur les toitures ou les façades de bâtiments conventionnels plutôt que de monopoliser de l'espace coûteux sur des sites dédiés à la production d'électricité.

Dans un système décentralisé, le système photovoltaïque permet de combler une partie des besoins d'électricité du bâtiment sur lequel il est installé, réduisant ainsi sa facture d'électricité. Lorsque la puissance générée par le système photovoltaïque excède les besoins du bâtiment, il est techniquement faisable d'alimenter le réseau électrique. Cependant, seules certaines compagnies d'électricité autorisent cette pratique.

Le réseau électrique auquel peut être raccordé le système photovoltaïque peut être soit un réseau central, c'est-à-dire un réseau national ou régional de très grande envergure, comme le réseau Nord Américain, soit un réseau isolé, c'est-à-dire un petit réseau alimentant une communauté éloignée et non raccordée au réseau électrique principal, sur un territoire limité comme dans le cas d'une île par exemple.

Bien qu'il y ait de plus en plus de nouvelles installations photovoltaïques à être raccordées à un réseau électrique dans le monde, de telles installations ne sont généralement viables au plan financier que lorsqu'elles bénéficient de subventions, sous une forme ou un autre.



Acétate 5

ACÉTATE 6 : Systèmes hors réseau

La deuxième catégorie de système photovoltaïque est celle des alimentations électriques autonomes qui permettent de fournir de l'électricité quand on n'est pas raccordé à un réseau électrique.

Il existe un grand nombre d'installations de ce type qui répondent à des besoins de faible puissance. Un système peut être aussi simple qu'un module photovoltaïque raccordé à une batterie pour alimenter une charge électrique, avec un régulateur de charge plus ou moins sophistiqué. Ces systèmes simples ayant peu de composants sont très fiables.

Aux latitudes élevées, il y a moins d'ensoleillement en hiver et il peut être très cher d'avoir un système photovoltaïque capable de répondre entièrement à une forte demande d'électricité toute l'année. Lorsque la demande est élevée et qu'en plus l'écart d'ensoleillement entre l'hiver et l'été est important, il devient alors intéressant d'envisager un système hybride qui fait appel à la contribution d'une éolienne ou d'un groupe électrogène à moteur thermique.

À la différence des systèmes raccordés au réseau, les systèmes photovoltaïques utilisés comme alimentation électrique autonome peuvent souvent être financièrement très rentables en comparaison d'autres sources d'alimentation. C'est en particulier le cas lorsque les charges sont inférieures à 10 kW.

Prolonger une ligne électrique du réseau peut représenter un important investissement même en comparaison d'une installation photovoltaïque surtout lorsqu'il s'agit de répondre à de faibles besoins d'électricité. En effet, une faible consommation d'électricité ne justifie pas une prolongation de ligne électrique du réseau alors que celui-ci est capable de fournir des besoins quasi illimités en énergie. D'autre part, l'utilisation d'un groupe électrogène ou de piles à usage unique, si elle nécessite un faible investissement initial, représente en revanche de très importants frais d'exploitation pour l'alimentation en carburant ou le remplacement des batteries, les visites d'entretien et les révisions du moteur. Une analyse financière à plus long terme montre alors qu'une installation photovoltaïque, plus chère à l'investissement, est en réalité plus économique.



Acétate 6

ACÉTATE 7 : Systèmes de pompage de l'eau

Il s'agit de la troisième catégorie de système photovoltaïque, un cas particulier des installations non raccordées à un réseau électrique. Ces installations se distinguent à 2 niveaux : en général, il y a une seule charge électrique, le moteur de la pompe à eau, et il est possible de remplacer les accumulateurs électriques tout simplement par un réservoir d'eau.



Acétate 7

ACÉTATE 7 : Systèmes de pompage de l'eau (suite)

Différents types de pompe conviennent selon l'application, le débit d'eau désiré, la tête de pression et la hauteur d'eau équivalente à laquelle l'eau doit être envoyée. Jusqu'à une hauteur de 6 à 7 m, on peut utiliser une pompe aspirante qui fonctionne en créant une pression négative pour aspirer l'eau. Ces pompes ont besoin d'être amorcées en les remplissant d'eau avant leur démarrage. Pour des hauteurs plus élevées, il est nécessaire d'utiliser une pompe refoulante placée proche de la source d'eau ou immergée dans l'eau. Ces pompes peuvent être de type centrifuge ou volumétrique. Les pompes centrifuges créent une pression d'eau qui la met en mouvement, au moyen d'un rotor dont les pales rejettent l'eau en périphérie. Ces pompes conviennent bien pour de forts débits mais leur rendement varie beaucoup en fonction de la tête d'eau. Pour des hauteurs élevées ou variables et des débits moyens, il peut être intéressant d'utiliser une pompe volumétrique aussi appelée à déplacement positif car son fonctionnement est basé sur le principe d'une cavité à volume fixe : on y aspire de l'eau, puis on ferme la vanne d'entrée de la cavité, et on force l'eau à sortir par une autre sortie de la cavité avant de répéter le cycle. Lorsque l'on a à la fois une forte tête d'eau et besoin de grands volumes, on utilisera une pompe centrifuge à plusieurs étages, dans laquelle une série de rotors s'alimentent l'un après l'autre pour créer la tête de pression nécessaire.

Dans les installations de pompage d'eau, le système de régulation électrique est généralement un élément important. Selon qu'il s'agit d'une pompe en courant continu ou en courant alternatif, le système de régulation sera soit un convertisseur de courant continu soit un onduleur à fréquence variable. Le rôle de ce régulateur est d'abord d'aider le système photovoltaïque à créer le courant plus important nécessaire au démarrage du moteur et ce même par faible ensoleillement. Il permet ensuite de faire travailler le champ photovoltaïque à son point de puissance maximale, quelle que soit la tension d'alimentation du moteur de la pompe.

Il est possible de remplacer un convertisseur de courant continu par une batterie d'accumulateurs qui fixent la tension du système d'alimentation et permettent de fournir le courant de démarrage, mais l'ajout d'un tel composant dans l'installation la rend moins efficace et crée des problèmes d'entretien en augmentant la complexité du système.

Comme les autres applications hors réseau, les installations photovoltaïques de pompage d'eau peuvent être très rentables. Dans les pays industrialisés, ces installations permettent d'abreuver le bétail dans les pâturages éloignés du réseau électrique, ou encore d'alimenter en eau une maison isolée. Dans les pays en voie de développement, ces installations permettent d'alimenter des villages en eau potable.

ACÉTATE 8 : Ressource solaire

L'énergie solaire est diffuse, c'est-à-dire qu'elle est disponible à faible densité, en comparaison d'autres formes d'énergie, et on a besoin de grandes surfaces de champ photovoltaïque pour générer des puissances significatives. En revanche, cette ressource est plus uniformément disponible à travers le monde, à la différence des autres sources d'énergie renouvelable comme le vent ou l'hydroélectricité dont l'exploitation est limitée à certains sites seulement. Il y a donc toujours, en quelques endroits du monde, une certaine quantité d'énergie solaire exploitable, du moins sur une base annuelle.



Acétate 8

ACÉTATE 8 : **Ressource solaire (suite)**

La capacité d'un champ photovoltaïque est la puissance qu'il est capable de produire dans des conditions normalisées qui correspondent à un fort ensoleillement de 1000 W/m² par temps frais qui permet aux cellules de ne pas s'échauffer à plus de 25 °C. Cette puissance crête est exprimée en W_c (W_p en anglais) et caractérise le champ photovoltaïque. Ce dernier produira une puissance inférieure lorsque l'ensoleillement diminue.

Dans la plupart des pays, une capacité installée de 1 W_c orientée face au soleil permet de fournir entre 800 et 2 000 Wh par année. La valeur inférieure correspond à des régions nuageuses et à haute latitude comme la Norvège, la valeur supérieure à des régions très ensoleillées comme le Botswana ou les régions sahariennes en Afrique.

Certains sites particulièrement nuageux comme les sommets de certaines chaînes de montagnes peuvent tomber sous cette plage de valeur, mais il s'agit de conditions exceptionnelles.

Si, sur une base annuelle, l'ensoleillement est relativement uniforme dans le monde, la différence d'ensoleillement entre l'été et l'hiver s'accroît au fur et à mesure que l'on se rapproche des pôles. Cette différence devient un défi dans la conception de systèmes hors réseau qui doivent combler un besoin toute l'année. Pour augmenter les gains en hiver, on commencera souvent par incliner le champ photovoltaïque de 15° en plus de la latitude du lieu, par rapport à l'horizontale. Si cela réduit sur une base annuelle le potentiel d'énergie produite, cela permet d'optimiser les gains en hiver lorsque le soleil est plus bas sur l'horizon. De plus, on devra dimensionner l'installation photovoltaïque en fonction de la ressource solaire moins abondante en hiver. Si cela conduit à un champ photovoltaïque trop important, on aura alors recours à une installation de type hybride en introduisant une autre source d'électricité comme un groupe électrogène.

Certaines installations sont réalisées sur un support qui s'oriente en permanence face au soleil. De tels mécanismes permettent d'augmenter la production d'électricité solaire de 20 à 50 % et ne sont vraiment efficaces que dans les climats où l'ensoleillement est essentiellement direct et pas dans les conditions d'ensoleillement diffus et par temps nuageux. À haute altitude en hiver ils n'apportent pas de bénéfices car la course du soleil décrit un arc très limité face au sud. Pour que de tels systèmes complexes et ayant des mécanismes en mouvement puissent se justifier et devenir rentables, il faut qu'il s'agisse d'applications demandant de forts besoins d'énergie en été, ou de systèmes raccordés au réseau pour lesquels on cherche à augmenter la quantité totale d'énergie produite sur une année.

ACÉTATE 9 : **Corrélation entre la charge et l'énergie solaire**

L'ensoleillement varie selon la saison et au cours d'une journée. Lorsque les besoins d'électricité sont plus élevés qu'en moyenne, justement aux heures de plus fort ensoleillement, et lorsque ces besoins sont plus faibles, voire nuls, la nuit, il s'agit d'une situation intéressante pour un système autonome car il aura besoin d'une plus faible capacité d'accumulateurs électriques et fonctionnera à un rendement plus élevé.



Acétate 9

ACÉTATE 9 : Corrélation entre la charge et l'énergie solaire (suite)

Lors de la conception d'un système hors réseau, la corrélation entre les besoins d'électricité et l'ensoleillement disponible, est donc un facteur à prendre en considération.

Plusieurs applications typiques du photovoltaïque ont une bonne corrélation sur une base saisonnière. C'est par exemple le cas des chalets d'été et des systèmes d'irrigation. Dans ces 2 cas, les besoins les plus importants sont en été alors qu'ils sont faibles ou inexistantes en hiver.

Au cours d'une journée, la corrélation entre les besoins d'électricité et l'ensoleillement peut être positive, nulle ou négative. Une corrélation positive implique qu'il n'y a pas besoin de stocker de l'énergie dans des accumulateurs pour répondre aux besoins. Un système de pompage de l'eau, comme celui montré sur la première photo, en est un exemple. À l'opposé, un système d'éclairage qui ne soutire de l'électricité que la nuit, aura une corrélation négative. Les systèmes ayant une corrélation nulle sont ceux qui correspondent à des charges constantes quelles que soient les conditions d'ensoleillement, par exemple comme dans le cas de stations de mesures ou de télécommunications.

ACÉTATE 10 : Exemples de coûts de systèmes PV

Les coûts d'une installation photovoltaïque varient beaucoup selon le site et le type d'application. Nous donnons deux exemples de systèmes très différents.

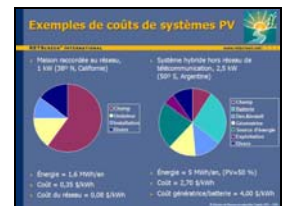
Le premier est le cas d'une maison de Californie aux USA équipée d'une toiture photovoltaïque de 1 kW_c raccordée au réseau électrique au moyen d'un onduleur. Dans cette installation, le champ photovoltaïque représente 60 % des coûts totaux d'installation et d'exploitation du système pendant sa durée de vie, alors que l'onduleur ne représente que 15 % et l'installation 10 %.

L'autre exemple est celui d'un site isolé de télécommunications dans le sud de l'Argentine, où a été installé un système photovoltaïque hybride de 2,5 kW_c. Pendant la durée de vie du système, la plus grosse dépense est le remplacement des accumulateurs électriques tous les 5 ans environ. Le carburant pour le groupe électrogène est la deuxième dépense la plus importante.

Comme le site est éloigné il y a des frais importants pour déplacer du personnel qualifié. C'est la raison pour laquelle l'entretien et la remise à neuf de la génératrice sont également une dépense importante de même que la conception et l'installation de ce système.

En résumé, dans ce système hors réseau, le remplacement des accumulateurs, le carburant du groupe électrogène et son entretien, sont les principaux coûts; alors que dans le cas du système raccordé au réseau on a un investissement initial très important mais ensuite de faibles coûts d'exploitation.

Les 2 systèmes se distinguent également au niveau de leur rendement et de leur rentabilité. Dans le climat californien, la maison solaire produit 1,6 MWh par année d'électricité, alors que le système hybride installé à haute latitude produit seulement 2,5 MWh par année bien qu'il ait une capacité deux fois et demi plus importante que celui de la maison.



Acétate 10

ACÉTATE 10 : Exemples de coûts de systèmes PV (suite)

Le prix de revient du kWh produit par la maison californienne est de 35 ¢ alors qu'il s'élève à 2,70 \$ dans le cas du système de télécommunications. Et pourtant, en comparaison du prix moyen de l'électricité en Californie, soit 8 ¢/kWh, le système raccordé au réseau ne peut pas être rentable. En revanche, malgré un coût de 2,70 \$/kWh le système hybride installé en Argentine est rentable car l'autre option la plus économique d'alimentation électrique serait d'avoir uniquement un banc d'accumulateurs rechargés par un groupe électrogène dont le prix de revient du kWh serait d'environ 4,00 \$.

On voit donc que malgré son prix élevé, un système photovoltaïque peut être très avantageux comme alimentation électrique autonome.

ACÉTATE 11 : Enjeux d'un projet d'installation photovoltaïque

Nous avons vu qu'un projet photovoltaïque peut être rentable dans le cas d'application hors réseau. Dans ces applications, la rentabilité sera souvent évaluée en fonction des coûts de prolonger une ligne électrique du réseau principal jusqu'au site où il y a un besoin d'électricité. Une installation photovoltaïque sera d'autant plus rentable que le réseau électrique est éloigné et que la charge électrique est faible. Un bon exemple de telles installations est celui des relais de télécommunications dans les régions éloignées du nord du Canada. En revanche, si on doit assurer des besoins de plusieurs kW à moins de quelques km du réseau, il sera plus difficile de justifier une installation photovoltaïque.



Acétate 11

Dans les sites éloignés ou difficiles d'accès, les frais de déplacement deviennent très importants et augmentent le coût des opérations d'entretien, d'exploitation et de livraison de carburant. Un système photovoltaïque qui recharge automatiquement des accumulateurs dès que le soleil brille est alors une solution bien plus avantageuse que d'avoir à approvisionner un groupe électrogène ou à remplacer des piles à usage unique.

Pour comparer la rentabilité des 2 solutions d'alimentation électrique autonome, il est important de baser l'évaluation sur les coûts globaux de l'installation, sur sa durée de vie. C'est-à-dire qu'il ne faut pas seulement comparer l'investissement initial mais également les frais d'exploitation et d'entretien. Une installation photovoltaïque demande un investissement plus important mais de faible frais d'exploitation. À l'inverse, un groupe électrogène est peu cher à l'achat mais exige un approvisionnement et un suivi régulier et coûteux.

Il est rare qu'un système photovoltaïque fasse défaut; en revanche, ils peuvent avoir de la difficulté à combler les besoins d'électricité en cas de période anormalement prolongée sans soleil. En augmentant la capacité des accumulateurs et la puissance installée, on réduit les risques que cela arrive.

Il y a donc un compromis à trouver entre la fiabilité d'approvisionnement et le coût que l'on est prêt à consacrer à une meilleure fiabilité. Cette décision doit être prise dès l'étape de conception du projet. Un relais de télécommunications comme celui que l'on voit sur cette photo exige une très haute fiabilité d'approvisionnement et son système d'alimentation électrique aura un coût en conséquence.

ACÉTATE 11 : Enjeux d'un projet d'installation photovoltaïque (suite)

Lors de la conception d'un système photovoltaïque destiné à approvisionner une résidence secondaire, un chalet ou une communauté isolée, il est très important d'avoir une vision réaliste des besoins électriques et de la quantité d'énergie que le système sera capable de fournir. De plus, dans les régions en voie de développement, il faut tenir compte des impacts sociaux de l'arrivée d'une telle installation.

Enfin, certains aspects intangibles d'une installation photovoltaïque peuvent représenter une valeur plus importante que les coûts en jeu. L'image « Hi-Tech » du produit, ses bénéfices environnementaux, l'absence de bruit et de gaz d'échappement, la simplicité d'utilisation, la facilité d'augmenter la capacité installée grâce à la modularité des systèmes photovoltaïques rendent ceux-ci souvent beaucoup plus attrayants même s'il existe une option plus économique.

ACÉTATE 12 : Lanterne solaire et systèmes PV résidentiels Exemples : Tibet, Botswana, Swaziland et Kenya

Environ 2 milliards d'individus dans le monde n'ont pas accès à l'électricité. Il s'agit souvent d'habitants de pays en voie de développement, surtout en milieu rural dépourvu d'infrastructure et éloigné du réseau électrique principal. Plusieurs de ces habitants souhaitent pouvoir se débarrasser des bougies et des lampes à pétrole et bénéficier de la lumière électrique, ainsi que de pouvoir alimenter leur radio, voire leur télévision, par un autre moyen que des piles qui sont très chères. L'accès à l'électricité est aussi un symbole de modernité.

Il est probable qu'un réseau électrique ne pourrait jamais être étendu à toutes ces communautés et toutes ces maisons, tout simplement parce qu'il n'y a pas le capital nécessaire pour que de tels projets d'envergure puissent se réaliser. Et quand il y a un réseau électrique dans de telles régions rurales éloignées, sa fiabilité peut laisser à désirer et sa capacité être limitée. L'électricité d'origine photovoltaïque peut donc être une solution pour ces régions. On peut envisager des systèmes aussi simples et modestes que la lanterne solaire illustrée en bas à gauche mais aussi des kits complets d'électrification d'une maison.

Dans tous les cas les besoins à couvrir tendent à être très faibles, au maximum de l'ordre de quelques centaines de Wh par jour, de façon à pouvoir se contenter d'un simple système photovoltaïque abordable.

À la différence d'un groupe électrogène ou d'une éolienne, un système photovoltaïque est très simple et fiable et son entretien peut être assuré par des personnes n'ayant pas de connaissances particulières en mécanique ou en électricité. C'est un atout essentiel dans des régions où il n'y a pas de main d'œuvre qualifiée pour installer et exploiter un système de production d'électricité.

Le dessin en haut à gauche montre un batik réalisé comme outil pédagogique pour donner de l'information de base sur ce qu'est un système photovoltaïque et ce qu'il peut apporter. Les 2 photos de droite montrent des maisons équipées d'un kit solaire comprenant un seul module PV, l'une au Tibet, l'autre au Swaziland.

La dernière photo, en bas au centre, est un logement destiné à du personnel d'une clinique au Botswana. En fournissant le confort et la commodité d'un chauffe-eau solaire et de l'électricité, il est plus facile de convaincre du personnel médical qualifié de s'établir dans cette région rurale.



Acétate 12

ACÉTATE 13 : Maisons et chalets en régions isolées
Exemples : Finlande et Canada

Dans certains pays développés, en particulier dans les pays nordiques, il est courant que les gens possèdent un chalet ou une résidence secondaire situé en pleine nature et même qu'ils décident de vivre complètement à l'écart. Ces résidences n'ont bien sûr pas accès au réseau électrique et leurs propriétaires ont de plus en plus adopté une installation photovoltaïque pour répondre à leurs besoins. La modularité de ces installations est appréciée des propriétaires qui se contentent au départ d'un kit d'éclairage et augmentent ensuite la capacité de leur installation lorsque de nouveaux besoins d'électricité se présentent ou qu'ils ont les fonds nécessaires. Ces installations sont rustiques et peuvent être entretenues et même installées, par les propriétaires eux-mêmes. L'absence de bruit et de ligne électrique est en harmonie avec le désir de ces utilisateurs de fuir la ville.

Les chalets, surtout utilisés en été dans les pays nordiques, offrent une bonne corrélation saisonnière entre les besoins d'électricité et l'ensoleillement. Pour les maisons qui sont occupées toute l'année, on opte plutôt pour un système hybride.

La photo en haut à gauche montre un chalet finlandais sur l'avant duquel 2 modules photovoltaïques sont installés et suffisent à répondre à des besoins de base. Il existe des dizaines de milliers d'installations de ce type en Scandinavie.

En haut à droite, on voit une maison de gardes d'un parc de la côte ouest du Canada, en Colombie-Britannique. Les gardes du parc apprécient beaucoup le système photovoltaïque dont les qualités sont dans la logique de leur mission de préservation de cette réserve naturelle. La photo du bas montre une maison isolée du Yukon au Canada. C'est une grande maison, habitée toute l'année et le système PV assez important fait partie d'un système hybride d'alimentation électrique.



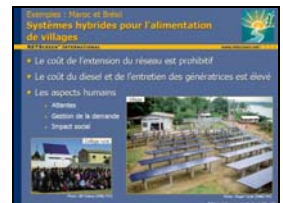
Acétate 13

ACÉTATE 14 : Systèmes hybrides pour l'alimentation de villages
Exemples : Maroc et Brésil

Une autre approche pour l'électrification des régions rurales de pays en voie de développement est la construction de mini-réseaux électriques à l'échelle d'un village et de les alimenter par un système photovoltaïque hybride. Cette approche a l'avantage de procurer de l'électricité à un plus grand nombre de personnes et d'utiliser plus efficacement la capacité de production et de stockage de l'électricité.

Il est souvent trop cher de prolonger le réseau jusqu'à de tels villages et leur approvisionnement en carburant est également coûteux, en plus d'augmenter les risques d'accident et de déversement de produits pétroliers. Un système hybride permet de réduire la dépendance en carburant. Ces systèmes comprennent généralement une batterie d'accumulateurs électriques.

Lors de la planification et de la réalisation de ces installations, il est essentiel de bien gérer les communications humaines, afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de fausses attentes quant à la capacité du nouveau système de fournir de l'électricité. À la différence d'un réseau électrique, capable de fournir de l'énergie sans limite, un tel système ne peut pas se permettre d'alimenter des charges importantes comme des systèmes de chauffage électrique ou des fers à repasser. Les utilisateurs doivent réaliser qu'ils ne pourront pas ajouter de nouvelles charges électriques par rapport à celles initialement prévues lors de la conception, sans que cela nuise aux performances et à la longévité de l'installation.



Acétate 14

ACÉTATE 14 : Systèmes hybrides pour l'alimentation de villages
Exemples : Maroc et Brésil (suite)

En effet, lorsque l'on décharge complètement une batterie d'accumulateurs électriques et que l'on ne leur laisse pas le temps de se recharger complètement, leur durée de vie sera grandement affectée. Il faut donc éduquer les utilisateurs à un usage rationnel et parcimonieux de l'électricité. Si les futurs utilisateurs sont bien informés avant même que l'installation ne soit réalisée, ils seront satisfaits des performances de celle-ci.

Un tel mini-réseau doit comprendre un mécanisme qui permette de répartir équitablement l'énergie disponible entre les différents utilisateurs de manière à ce que des abus des uns ne pénalisent pas les autres. Un tel mécanisme doit aussi promouvoir l'utilisation d'électricité une fois que les accumulateurs électriques ont atteint leur pleine charge et que l'ensoleillement est élevé et dissuader la consommation lorsqu'il y a moins d'énergie disponible. Dans certaines installations on impose une limite absolue à la puissance et à la quantité quotidienne d'électricité que chaque utilisateur peut soutirer du réseau. Enfin, il est très important de surveiller que le réseau électrique n'est pas piraté par des utilisateurs sans compteur électrique.

Il faut également bien analyser les impacts sociaux de l'installation d'un mini-réseau électrique. Des impacts négatifs peuvent résulter d'une imposition trop importante du service de la dette sur la communauté à cause des coûts initiaux élevés du projet. Ces impacts peuvent avoir comme conséquences d'exacerber les différences entre les membres les mieux nantis et les plus pauvres de cette communauté. Les impacts positifs sont de pouvoir offrir de meilleures conditions de vie, propice au développement de nouvelles activités, à l'établissement de personnel dans le domaine de la santé et de l'éducation et donc à une réduction de l'exode rural. Dans de tels projets, ce n'est pas la conception ni l'installation du système qui sont un défi mais bien plutôt de trouver des mécanismes équitables de financement et de facturation de l'électricité.

La photo de gauche montre les étudiants d'un collège rural au Maroc, qui bénéficient d'un système hybride d'alimentation électrique. Le système de droite alimente le mini-réseau d'un village isolé de l'Amazonie au Brésil.

ACÉTATE 15 : Systèmes industriel : télécommunication et système de contrôle
Exemples : Antarctique et Canada

Il y a des milliers de systèmes industriels dans le monde qui bénéficient de l'énergie photovoltaïque, une technologie très fiable idéale pour alimenter des systèmes critiques comme des relais de télécommunications ou des systèmes de mesure et de télé contrôle. De telles installations sont souvent très éloignées ou isolées. La photo du dessus montre une station sismique alimentée par un système hybride à des milliers de kilomètres d'un réseau électrique, en Antarctique. Dans de tels sites, l'approvisionnement en carburant est extrêmement cher car les frais de transport sont souvent plusieurs ordres de grandeur fois plus élevés que la valeur du carburant même. Quand il y a un problème de mécanique ou d'entretien, il faut envoyer du personnel qualifié à plusieurs heures d'hélicoptère d'une base déjà éloignée. On comprend pourquoi un système photovoltaïque devient très avantageux en réduisant les besoins de carburant et en espaçant les opérations d'entretien.



Acétate 15

ACÉTATE 15 : **Systèmes industriel : télécommunication et système de contrôle**
Exemples : Antarctique et Canada (suite)

En général, les caractéristiques d'un groupe électrogène sont à l'opposé d'une installation photovoltaïque, ce qui peut rendre ces 2 alimentations complémentaires. En combinant un système économique à l'achat mais entraînant des frais élevés d'exploitation à un système exigeant un fort investissement mais très économique à l'utilisation, on peut obtenir un système hybride optimisé d'un point de vue financier.

Il n'y a pas besoin de se trouver à des milliers de km d'un réseau électrique pour que l'on envisage une installation photovoltaïque. La photo du bas montre un système de télécontrôle d'un puits de gaz naturel en Alberta, au Canada. Des milliers de systèmes identiques existent dans cette région, parfois juste à côté d'une ligne électrique. Une installation photovoltaïque peut être facilement déplacée lorsque l'on creuse un nouveau puits de gaz naturel, évite la construction d'un poste électrique avec transformateur pour n'alimenter qu'une faible charge électrique et l'ajout d'un système d'alimentation sans coupure dans le cas où le réseau électrique n'est pas assez fiable. Le système photovoltaïque de télécontrôle est devenu un kit standard dans l'industrie du gaz naturel qui est utilisé quelle que soit la distance du réseau électrique.

ACÉTATE 16 : **Bâtiments raccordés au réseau avec système PV**
Exemples : Suisse et Japon

Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau électrique sont rarement rentables sans subventions. Il y a cependant plusieurs milliers d'installations de ce genre à travers le monde, alimentant des bâtiments eux-mêmes raccordés au réseau électrique. Dans beaucoup d'installations, la subvention n'a pas été l'élément déclencheur de la décision d'adopter un système photovoltaïque. La décision a plutôt été basée sur l'image que donne une telle installation, sur ses avantages au plan environnemental et justifiée par la baisse des prix à long terme de cette technologie si on en stimule le marché. L'image d'une installation photovoltaïque qui produit de l'électricité à partir du rayonnement solaire et au moyen de matériaux semi-conducteurs similaires à ceux utilisés en informatique, peut être très positive pour une société qui veut promouvoir sa conscience environnementale et donner une image futuriste et hautement technologique.

Une installation photovoltaïque produit de l'électricité sans générer de pollution et le procédé de fabrication des composants photovoltaïques fait partie d'une industrie assez propre. Un module photovoltaïque produit au cours de sa durée de vie 20 fois l'énergie qui a été dépensée dans sa fabrication. Les utilisateurs soucieux de préserver l'environnement adoptent donc par principe la technologie photovoltaïque.

Des organisations gouvernementales reconnaissent les avantages à long terme de la technologie photovoltaïque, de fournir de l'électricité en ne générant ni gaz à effet de serre, ni polluants. Une façon d'encourager la recherche et le développement dans cette filière est de subventionner certains marchés d'application de cette technologie. Cette politique a permis d'en réduire considérablement les coûts, si bien que le prix est aujourd'hui une faible fraction de ce qu'il était il y a 20 ans et que ce prix continue à baisser. Les programmes de subvention des gouvernements, des manufacturiers et des compagnies d'électricité ont été plus efficaces lorsqu'ils ont été soutenus sur de longues périodes de temps, permettant ainsi à des projets de recherche et de développement d'avoir le temps de porter fruit et à des investissements de se réaliser dans des unités de production plus grandes donc produisant à un plus faible coût unitaire.



Acétate 16

ACÉTATE 16 : **Bâtiments raccordés au réseau avec système PV**
Exemples : Suisse et Japon (suite)

La photo du haut montre des toits de résidences recouverts d'un revêtement formé de cellules photovoltaïques, un projet réalisé en Suisse. La photo du bas montre un immeuble commercial au Japon dont le mur-rideau est composé de modules photovoltaïques de verre.

ACÉTATE 17 : **Systèmes PV de pompage de l'eau**
Exemples : Inde et États-Unis

Le pompage de l'eau est souvent rentable avec une installation photovoltaïque lorsque l'on n'a pas accès au réseau électrique. C'est le cas dans l'agriculture, surtout que les besoins d'eau coïncident avec les périodes de sécheresse, c'est-à-dire des périodes ensoleillées. Un réservoir d'eau permet de stocker les quantités d'eau nécessaires pour couvrir les besoins par temps nuageux et la nuit; c'est donc un moyen beaucoup plus simple et fiable de stocker l'énergie solaire que d'utiliser des accumulateurs électriques.

Le pompage de l'eau peut fortement contribuer à améliorer la qualité de l'eau. En effet, le pompage mécanique de l'eau évite la contamination des nappes d'eau car on peut par exemple empêcher le bétail d'y avoir directement accès. Les troupeaux sont alors en meilleure santé.

Pour des besoins à faible débit, les économies de carburant réalisées en remplaçant une pompe à moteur par une pompe photovoltaïque sont peu significatives. En revanche, un avantage très apprécié des utilisateurs est le fonctionnement automatique de cette pompe qui les libère de tout souci d'avoir à la mettre en route et à l'arrêter et d'avoir à la réapprovisionner régulièrement en carburant. C'est souvent cet argument qui fait qu'une pompe photovoltaïque est retenue par des fermiers ou des éleveurs.

La fiabilité et la simplicité d'un système photovoltaïque de pompage de l'eau sont les caractéristiques les plus importantes d'un système d'alimentation en eau de maisons ou de villages. Il reviendrait plus cher d'avoir à envoyer vers ces sites du personnel qualifié capable de réparer des systèmes plus compliqués à exploiter et sujets à des pannes plus fréquentes.

En bas à gauche, on voit la photo d'un élevage de bétail aux États-Unis, abreuvé grâce à une pompe photovoltaïque. La photo de droite est celle d'un village en Inde approvisionné en eau par une pompe photovoltaïque dont les modules PV sont installés sur un mécanisme d'orientation automatique qui les maintient face au soleil.



Acétate 17

ACÉTATE 18 : **Modèle RETScreen® pour les projets d'installation photovoltaïque**

Le modèle RETScreen pour projets photovoltaïques est un outil simple mais très utile pour évaluer de manière préliminaire la faisabilité technique et financière d'une installation photovoltaïque. Pour n'importe quel endroit du monde, on est en mesure d'obtenir une analyse de la production annuelle d'électricité solaire, des coûts globaux sur la durée de vie du projet et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.



Acétate 18

ACÉTATE 18 : **Modèle RETScreen® pour les projets d'installation photovoltaïque (suite)**

Les installations peuvent être raccordées à un réseau central ou à un réseau isolé, ou bien, être des alimentations électriques autonomes avec ou sans groupe électrogène auxiliaire, ou encore être des systèmes de pompage d'eau.

Pour mener à bien une telle analyse, l'utilisateur fournit au modèle les moyennes mensuelles du site pour la température extérieure et l'ensoleillement quotidien sur une surface horizontale. Le logiciel comprend une importante base de données météorologiques qui peut fournir ces valeurs, n'importe où dans le monde. Ces valeurs mensuelles sont beaucoup plus faciles à obtenir puis à traiter que les 8 760 valeurs exigées par un logiciel de simulation horaire.

Bien que le modèle RETScreen pour projets photovoltaïques fournisse un grand nombre d'informations importantes sur le système à l'étude, il ne calcule pas la probabilité qu'un manque d'énergie survienne, une évaluation de la fiabilité du système.

Le modèle ne peut pas non plus représenter des systèmes avec concentrateur de l'ensoleillement incident, par exemple par des jeux de miroirs ou par l'utilisation de lentilles faisant converger la lumière sur la surface de la cellule photovoltaïque.

ACÉTATE 19 : **Calculs RETScreen® : installation photovoltaïque**

Ce modèle donne les performances du système photovoltaïque pour une année complète, en utilisant les moyennes mensuelles de température et d'ensoleillement. Nous ne faisons qu'une brève présentation de ce modèle. Pour plus de précisions, l'utilisateur peut consulter le Manuel d'ingénierie et d'études de cas, disponible sans frais sur le site Internet de RETScreen, à la rubrique e-Manuel.



Acétate 19

La première étape de calcul consiste à convertir la moyenne mensuelle de l'ensoleillement sur une surface horizontale en une valeur moyenne de l'ensoleillement dans le plan des modules photovoltaïques. Les algorithmes de RETScreen permettent de réaliser ce calcul aussi bien pour un plan fixe que pour un système orienté continuellement face au soleil. La valeur de l'ensoleillement moyen mensuel dans le plan des modules photovoltaïques permet ensuite de calculer la quantité d'électricité qu'ils produiront chaque mois.

Pour les installations raccordées au réseau électrique, l'énergie produite est réduite des pertes dans l'onduleur. Si le réseau électrique est isolé et que la puissance photovoltaïque installée est du même ordre de grandeur que la capacité du réseau, il se peut qu'à certaines périodes, on ne puisse pas utiliser toute la puissance produite par le champ PV. Pour tenir compte de cette possibilité, on doit réduire la quantité d'électricité produite pour obtenir l'énergie effectivement fournie au réseau par le système photovoltaïque.

Dans le cas des alimentations électriques autonomes, RETScreen détermine quelle proportion de l'énergie produite par le champ PV est directement utilisée par la charge, et quelle portion passe par les accumulateurs électriques avant d'être utilisée. Cette dernière quantité d'énergie subit donc les pertes du cycle de charge et de décharge d'un accumulateur. Dans le cas d'un système hybride, RETScreen évalue la proportion de la charge électrique qui ne peut être comblée par le système photovoltaïque et doit donc être assurée par le groupe électrogène.

ACÉTATE 19 : **Calculs RETScreen® : installation photovoltaïque (suite)**

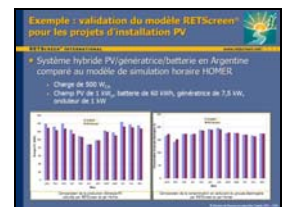
Dans le cas des pompes à eau, les rendements du moteur et de la pompe permettent de déterminer quelle fraction de l'énergie électrique produite est effectivement transformée en énergie mécanique, et donc de pouvoir calculer quelle quantité d'eau a été effectivement relevée à une hauteur donnée.

Le résultat de ces étapes est de pouvoir calculer la quantité d'énergie photovoltaïque effectivement produite en réponse aux besoins.

ACÉTATE 20 : **Exemple : validation du modèle RETScreen® pour les projets d'installation PV**

Le modèle RETScreen a été validé de plusieurs façons. Par exemple, on l'a comparé au modèle de simulation HOMER du National Renewable Energy Laboratory. Le cas particulier d'un système hybride autonome utilisant des modules PV, une batterie d'accumulateurs et un groupe électrogène, situé en Argentine, a été examiné. Le système alimente une charge constante de 500 W en courant alternatif. Il comprend un champ PV de 1 kW_c, une batterie d'accumulateurs totalisant une capacité de 60 kWh de stockage d'électricité, un groupe électrogène de 7,5 kW et un onduleur d'une capacité de 1 kW_c.

Sur une base annuelle, les 2 modèles prédisent à quelques % près la même quantité d'électricité solaire produite et la même consommation de carburant du groupe électrogène. Si on s'intéresse à chacun des mois de l'année, les 2 modèles donnent un écart inférieur à 10 %. Ceci nous laisse croire que RETScreen peut être considéré comme étant aussi précis qu'un modèle de simulation horaire; en tout cas, sa précision est suffisante pour réaliser des études préliminaires de faisabilité.



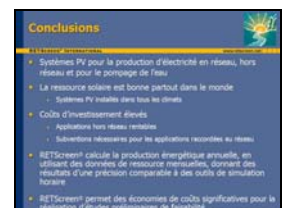
Acétate 20

ACÉTATE 21 : **Conclusions**

L'énergie photovoltaïque permet aussi bien d'alimenter un réseau en électricité que de servir comme alimentation électrique autonome ou au pompage de l'eau. L'énergie solaire est disponible partout dans le monde et il existe déjà des systèmes photovoltaïques dans tous les climats et toutes les régions imaginables.

Une installation photovoltaïque représente un important investissement, mais son utilisation et son entretien n'engendrent que des coûts minimes. Une telle installation peut être financièrement rentable lorsque l'on n'a pas accès au réseau électrique, et c'est d'autant plus lorsque l'on a de faibles besoins d'électricité.

Les installations raccordées au réseau électrique ne sont généralement pas encore rentables et doivent souvent bénéficier de programmes de subvention. Le marché qui s'est développé aussi bien pour les applications en réseau que hors réseau a permis de faire chuter rapidement le prix des installations photovoltaïques.



Acétate 21

ACÉTATE 21 : **Conclusions (suite)**

Pour calculer la production d'énergie photovoltaïque, le modèle RETScreen n'utilise que des moyennes mensuelles d'ensoleillement mais atteint une précision comparable à celle de modèles de simulation horaire. RETScreen réduit considérablement les coûts de réalisation d'études préliminaires de faisabilité sur l'implantation de systèmes photovoltaïques.

ACÉTATE 22 : **Questions?**

Voici la fin du module de formation *Analyse de projets d'installation photovoltaïque* du cours d'analyse de projets d'énergies propres de RETScreen International.



Acétate 22