



Efficacité énergétique & architecture solaire passive dans le secteur du bâtiment



Penser au futur pour reconstruire l'Afghanistan



Cette brochure présente les résultats d'un projet exemplaire de construction de 8 bâtiments publics et privés réalisés en 2003 ainsi que les enjeux énergétiques, environnementaux et économiques d'un tel programme dans le cadre de la reconstruction de l'Afghanistan.

Plusieurs milliers de bâtiments (santé, éducation, logements) sont à construire ou à réhabiliter dans les prochaines années. L'application des principes de l'architecture solaire passive et de l'efficacité énergétique permet de réduire fortement, à des coûts acceptables, les besoins énergétiques pour le chauffage des bâtiments des régions froides où vit plus de la moitié de la population afghane.



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



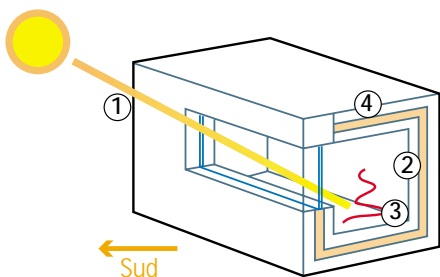
République Islamique d'Afghanistan

Les enjeux énergétiques et environnementaux en Afghanistan

- Environ 90 % des ressources énergétiques proviennent de biomasse non renouvelable, aggravant la déforestation.
- Au 19^{ème} siècle, l'essentiel des régions du centre, du nord et de l'est était boisé. Aujourd'hui la forêt ne couvre pas plus de 4 % du territoire. Selon le PNUE, « la collecte du bois de feu et les effets des troupeaux sur la survie et la régénération sont les facteurs essentiels de la déforestation, plus rapide que jamais ».
- La qualité de l'air dans les villes est mauvaise, affectée par un parc de 600 000 véhicules, anciens pour la plupart, et l'utilisation de fours de cuisson et de chauffage peu performants.
- L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) a estimé récemment qu'un million de personnes meurent chaque année en Asie, empoisonnées par les émanations de fumées et de CO de leurs cuisinières ; l'Afghanistan est naturellement concerné par ce problème.
- Selon une estimation du PNUE, chaque Afghan émet 1,2 tonne de CO₂ par an, qui se décomposent ainsi :
 - 1 tonne issue de la combustion de bois, pour le chauffage et la cuisson, produite de manière non durable
 - 0,1 tonne émise par la combustion de kérosène et de gaz
 - 0,1 tonne résultante de la consommation d'électricité.

2)

Les 4 principes de base pour une bonne conception énergétique des bâtiments en climat froid



1 - Collecte et absorption du rayonnement solaire pendant la journée

2 - Stockage de la chaleur provenant du soleil pendant la journée

3 - Restitution de la chaleur à l'intérieur du bâtiment pendant la nuit

4 - Isolation de la totalité du bâtiment afin de conserver autant de chaleur que possible à l'intérieur.

L'architecture solaire passive et l'efficacité énergétique

L'architecture solaire passive

L'architecture solaire passive permet de concevoir rationnellement des bâtiments afin de profiter de l'environnement extérieur (par l'absorption d'énergie solaire) tout en réduisant les inconvénients (le vent, les températures basses la nuit ou élevées en été...). Le but est d'atteindre de bonnes conditions de confort intérieur en limitant les besoins de chauffage et de rafraîchissement.

L'orientation

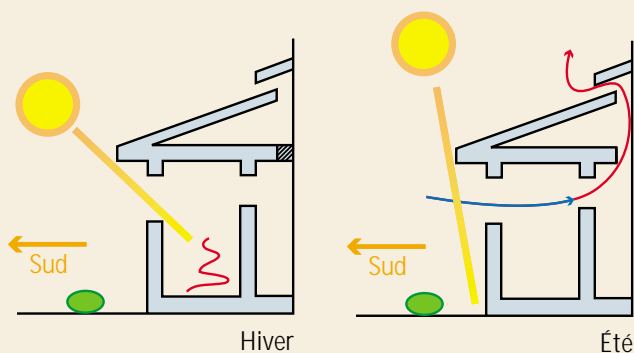
Les bâtiments doivent être orientés selon un axe est-ouest avec une large façade au sud afin d'augmenter l'absorption d'énergie solaire pendant la saison d'hiver et de la réduire en été. Les façades exposées au rayonnement solaire accumuleront de l'énergie pendant que les autres en perdront.

L'exposition des pièces

La situation des pièces dépend de leur surface et des périodes d'occupation. Les pièces les plus importantes, telles que les salles de classe, devront se situer dans la partie sud de l'immeuble et les moins occupées, telles que les entrepôts, dans la partie nord. Les salles occupées principalement le matin devront se situer dans la partie est et celles plus fréquentées l'après-midi en partie ouest.

L'absorption de l'énergie solaire

Dans la partie située au sud, les fenêtres devront être larges pour absorber l'énergie solaire qui sera stockée dans les murs et le plancher et restituée pendant la nuit pour chauffer les pièces. Dans la partie nord, les fenêtres devront être peu nombreuses pour minimiser les pertes de chaleur, mais assez grandes pour laisser pénétrer la lumière.



En hiver, le soleil est bas dans le ciel, les rayons du soleil pénètrent ainsi pour chauffer le bâtiment

En été, quand le soleil est haut dans le ciel, le débord de toiture arrête ses rayons. La ventilation naturelle limite également la surchauffe.

Les solutions pour réduire les pertes de chaleur

Réduire les pertes de chaleur grâce à l'isolation thermique

Afin de réduire les pertes de chaleur, les murs, les planchers et surtout les toits, doivent être isolés avec des matériaux locaux (paille, sciure) ou industriels (polystyrène) permettant ainsi de stocker la chaleur à l'intérieur des murs (inertie thermique). Les fenêtres devront être équipées de double vitrage pour les mêmes raisons.

Utiliser des appareils de chauffage performants

Dès lors que l'on a mis en œuvre les solutions innovantes présentées auparavant, les besoins de chauffage sont réduits de 70 %, comparés à ceux d'un bâtiment moderne conventionnel.

On peut encore réduire la consommation finale en énergie en utilisant des poêles au gaz ou à kérosène performants avec des rendements énergétiques de 80 % ; les poêles traditionnels afghans (bukhari) ont un rendement de seulement 25 %.

Surcoût, économie d'énergie et temps de retour des investissements

Le tableau ci-dessous présente pour des bâtiments traditionnels et pour des bâtiments utilisant les techniques d'efficacité énergétique et d'architecture solaire passive :

- > les coûts de construction,
- > les ratios de consommation d'énergie de chauffage,
- > les investissements additionnels nécessaires pour mettre en œuvre les techniques énergétiques innovantes,
- > le temps de retour des investissements additionnels.

		Bâtiment conventionnel	Bâtiment économe en énergie	% coût additionnel, % énergie économisée	Temps de retour (années)
Centres de santé	Investissement en €/m ²	270	305	13 %	4.1
	Consommation d'énergie (chauffage) en kWh/m ²	410	93	78 %	
Ecoles	Investissement en €/m ²	200	224	12 %	15.1
	Consommation d'énergie (chauffage) en kWh/m ²	80	20	75 %	
Bâtiments domestiques	Investissement en €/m ²	100	115	15 %	3.8
	Consommation d'énergie (chauffage) en kWh/m ²	207	76	63 %	

Un projet de constructions exemplaires

Lors d'une phase préliminaire pilote, 8 bâtiments ont été construits en 2002 et 2003 par le GERES en partenariat avec des ONG afghanes et internationales et un organisme public allemand (GTZ).

La conception initiale des bâtiments a été réalisée par les partenaires, le GERES étant en charge de la conception de l'architecture solaire passive et de l'efficacité énergétique. La supervision de la réalisation de chacun des projets a été réalisée conjointement.

Bâtiment	Localisation (Province)	Partenaire	Surface utile	Surcoût	Coût (€/m ²)	Surcoût (€/m ²)
Hôpital de District	Ali-Dehe-Baba (Kapissa)	GTZ	1 091 m ²	13,2 %	207	27,7
Centre de santé de base	Khandud (Badarkshan)	AKDN	231 m ²	13,1 %	340	44,7
Extension d'une clinique	Beyhsud (Wardak)	MADERA	126 m ²	20 %	318	64
Rénovation d'une maison	Beyhsud (Wardak)	MADERA	108 m ² + 43 m ² Serre solaire annexe	21 %	35,5	5,6
Centre pédagogique	Charrikar (Parwan)	Afrane	98 m ²	8 %	266	16,7
Habitat pour réfugiés	Bamyan (Bamyan)	Solidarités	62 m ² + 62 m ² Serre solaire annexe	21 %	58	10
2 écoles	Laghmani (Parwan)	DAI	1 044 m ²	13 %	138	18
TOTAL			2 864 m ²	14 %	170	24

Les économies d'énergie varient de 63 à 78 % selon que les bâtiments sont utilisés uniquement le jour (les écoles) ou en permanence (logements, hôpitaux). De même, le temps de retour des investissements additionnels varie de 4 à 15 ans selon l'utilisation du bâtiment.

1 Euro (€) = 1,2 \$ = 60 Afghanis

GERES : Le Groupe Energies Renouvelables et Environnement est une ONG française qui élabore et met en œuvre des solutions de développement à long terme par l'utilisation des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Ses 20 années d'expérience en architecture solaire passive dans les régions à climat froid (Himalaya Indien, Népal, Chine...) ont été mises en application en Afghanistan dans un projet pilote réalisé avec le soutien du Ministère Français des Affaires Etrangères (MAE), de l'Agence Française pour le Développement (AFD), de la coopération technique allemande (GTZ), de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), du Conseil Général des Bouches-du-Rhône, du Conseil Régional de Provence-Alpes-Côte d'Azur et de la Caisse des Dépôts et Consignations.

Les bâtiments de santé publique

Les enjeux spécifiques

L'aide internationale prend en charge la reconstruction des infrastructures mais l'Etat afghan devra assurer la prise en charge des coûts de fonctionnement ; l'énergie qui représente jusqu'à 15 % de ces coûts est le seul poste budgétaire qui peut être diminué sans altérer la qualité des services. Les besoins thermiques (chauffage, cuisson) représentent 90 % des dépenses énergétiques.



1 091 m² Hôpital de District à Ali-Dehe-Baba, Province de Kapissa, altitude 1 600 m.



	€	€ par m ²	%
Coût total	170 000	207	100 %
Surcoût des matériaux	16 889	21	9,9 %
Surcoût des travaux	5 629	6,7	3,3 %
Surcoût total	22 518	27,7	13,2 %

Les équipements techniques supplémentaires incluent :

- l'isolation du plancher avec 5 cm de polystyrène
- le doublage des murs en brique avec 10 cm de polystyrène
- des fenêtres en PVC avec double vitrage
- l'isolation thermique en toiture avec 10 cm de polystyrène
- l'ajout de puits de lumière.



231 m² Centre de Santé de base à Khandud, District de Wakhan, Province de Badakhshan, altitude 2 800 m.



	€	€ par m ²	%
Coût total	53 782	340	100 %
Surcoût des matériaux	6 022	38	11,2 %
Surcoût des travaux	1 021	6,7	1,9 %
Surcoût total	7 043	44,7	13,1 %

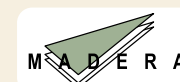
Les équipements techniques supplémentaires incluent :

- l'isolation du plancher avec un mélange terre-paille
- des parpaings de ciment et un doublage du mur en pierre avec 10 cm de polystyrène
- des fenêtres en bois avec double vitrage
- l'isolation thermique en toiture avec 15 cm de polystyrène.

4)



126 m² Extension de la clinique de Garden Diwal, District de Behsud 1, Province de Wardak, altitude 2 700 m.



Clinique traditionnelle

Bois/Boue séchée/Charbon	Superficies (m ²)	kWh/an/m ²
Vaccination/Information	14,5	1 088
Consultation	13	2 463
Pharmacie	6,5	2 352
Accueil/Laboratoire	11,5	1 394
Poste de sécurité	17	1 911
Salle de bains	4	3 530
Total	66,5	1 810

Les équipements techniques supplémentaires incluent :

- l'isolation du plancher avec un mélange terre-paille
- des murs en pierre avec un doublage en brique avec 20 cm de paille
- des fenêtres en bois avec double vitrage
- l'isolation thermique en toiture avec 20 cm de paille.

Extension avec l'architecture solaire passive

Wood/Dung/ Rooms	Superficies (m ²)	kWh/an/m ²
Women consultation room	14	117
Waiting room	14	271
Total	28	194

L'extension d'une clinique existante a permis de réaliser des comparaisons entre les consommations d'énergie de chauffage d'un bâtiment amélioré et d'un bâtiment conventionnel.

Le tableau ci-contre montre une économie de 89 % en terme de consommation d'énergie

L'importance de la réhabilitation des infrastructures existantes

L'introduction de mesures d'efficacité énergétique pour le chauffage des locaux, la rationalisation de la production locale et de l'utilisation d'électricité ainsi que l'utilisation de poêles performants permettent d'envisager de réaliser facilement, avec

des investissements présentant des temps de retour inférieurs à 5 ans, des économies budgétaires de 50 %. Un hôpital de district de 50 lits peut dépenser jusqu'à 17 000 €/an pour son approvisionnement en énergie ; sur la base des milliers de structures de santé existantes, l'enjeu économique est évident.

Les écoles

Les enjeux spécifiques

Dans les régions froides afghanes, les écoles sont fermées jusqu'à 6 mois en hiver car leur chauffage n'est pas prévu par manque de moyens financiers.



2 écoles de deux étages et 14 classes chacune à Lagmani

District de Charrikar, Province de Parwan à une altitude de 1 600 m.
La surface habitable de chaque école est de 522 m².



Budget total	Coût additionnel dû à l'architecture solaire passive
72 492 € (138 €/m ²)	9 617 € (18 €/m ²)
	13 % du budget

Un impact social majeur

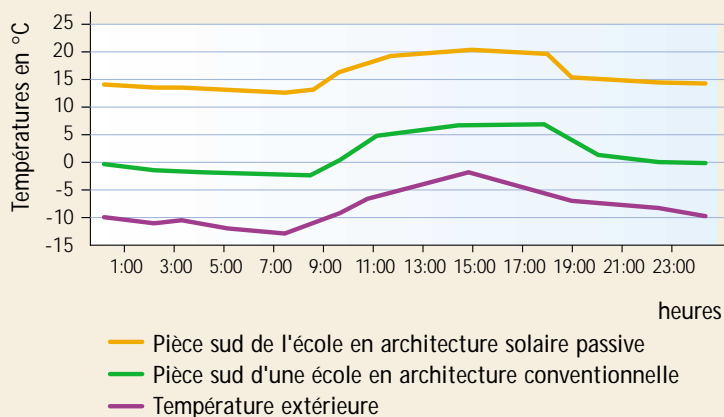
Le premier hiver d'utilisation de l'école a permis de lancer des sessions de formation continue pendant les 3 mois durant lesquels elle est habituellement fermée.

Tableau commenté des températures de janvier à Kaboul

Le graphique suivant montre que, dans une école non chauffée et construite selon les principes de l'architecture solaire passive, la température intérieure ne descend jamais en dessous de 15°C durant les heures d'ouverture même pendant les mois les plus froids d'hiver.

On peut espérer que ce bâtiment servira, pour les villages sous-équipés en infrastructures publiques, de lieux communautaires, contribuant à la revitalisation de la démocratie locale, enjeu auquel s'attache l'Etat afghan avec ses partenaires au développement.

Simulation des températures en janvier dans la région de Kaboul



A la demande du Ministère des Affaires Etrangères, le Fonds Français pour l'Environnement Mondial envisage de soutenir les autorités afghanes pour l'introduction de l'efficacité énergétique dans la réalisation de bâtiments publics (santé et éducation) dans les zones rurales froides. Le projet comporte 4 objectifs :

- Diminuer sensiblement les niveaux de consommation et de dépense en énergie dans les centres de santé et les écoles, objets de programmes de reconstruction.
- Développer la sensibilisation et la participation des autorités afghanes et des bailleurs de fonds à la problématique de l'efficacité énergétique.
- Créer un environnement incitatif et réglementaire en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments en Afghanistan.
- Développer les filières de production locales de matériaux et les compétences techniques à tous les niveaux.

Le projet prévoit avec la coopération des ministères afghans de la Santé et de l'Education, dans les 3 années à venir, la réalisation de 100 bâtiments, l'établissement de standards de construction performante et la formation des acteurs.

Le surcoût de l'amélioration énergétique des bâtiments se limitera à 12 % du coût total pour une économie d'énergie de l'ordre de 60 %. Le coût total du programme s'élève à 13 M. d'euros ; le FFEM devrait contribuer à la réalisation de ce programme à hauteur de 1,35 M. d'euros.

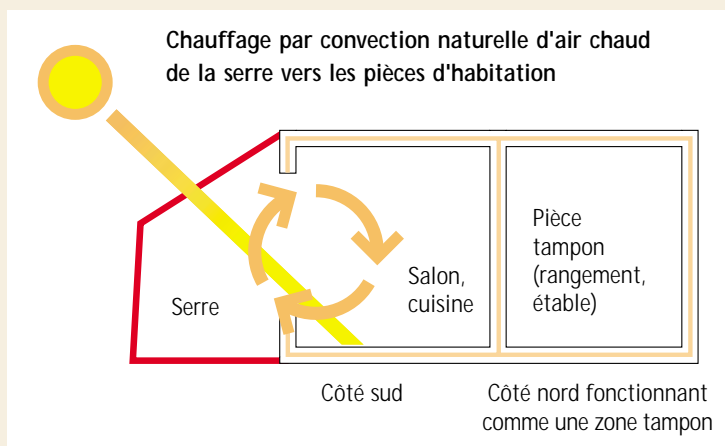
Cette opération s'inscrit dans l'initiative Afghano-Franco-Allemande pour l'Energie "AFG Energy Initiative".

L'habitat domestique

Les enjeux spécifiques

- L'utilisation de solutions énergétiques efficaces permet tout à la fois de diminuer les dépenses et d'améliorer sensiblement le confort dans l'habitat. C'est un stimulant pour la création ou le développement d'activités artisanales en hiver (production de tapis), période d'inactivité dans les régions froides.
- Des enquêtes montrent que les dépenses en énergie d'une famille urbaine peuvent représenter jusqu'à 25 % de son budget (2^{ème} poste de dépense après l'alimentation).
- Dans les campagnes, la pénurie extrême de biomasse fait que la collecte du bois, de déchets végétaux et de bouses séchées, qui peut représenter jusqu'à 1 mois de travail, ne suffit plus à subvenir à l'ensemble des besoins pour le chauffage et la cuisson.
- Les plus pauvres ne peuvent pas toujours assumer le poids des dépenses énergétiques ; ils sont alors parfois contraints de migrer vers les régions plus chaudes du pays en hiver.
- Les enjeux sont importants dans la construction neuve pour les réfugiés de retour et dans l'habitat existant ; c'est dans ce secteur qu'ont été réalisées les 2 opérations pilotes.

Les solutions techniques dans l'habitat existant



L'isolation thermique de la toiture, l'adjonction d'une serre solaire en façade sud et l'agrandissement des fenêtres entre la serre et l'habitation pré-existante sont des solutions simples et faciles à mettre en œuvre.

La serre solaire devient une nouvelle pièce de vie.



La surchauffe dans la serre est maîtrisée grâce à des trappes de ventilation naturelle

Les impacts économiques et sociaux

Economiques

- Une économie de consommation de bois pour le chauffage et la cuisson, réalisée pendant toute la période hivernale, de l'ordre de 5 tonnes (10 000 Afg ; 170 €).
- Un accroissement de la fabrication de tapis. A Beshud, un propriétaire a acheté un deuxième métier à tisser et l'a installé dans la serre.
- A Beshud, le gain de lumière et de chaleur apporté par l'ajout d'une serre solaire a contribué à une augmentation de 50 % de la production de tapis et autant sur le revenu des ménages de la manière suivante :

Revenu supplémentaire	Par mois	Par hiver
En Afghanis	7 000	42 000
En Euros	117	700

Confort, impact social et santé

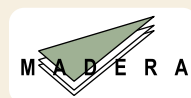
- Une augmentation de la température intérieure malgré une diminution de la consommation de combustibles pour le chauffage (même durant la nuit, alors que la température extérieure est inférieure à -15°C, la température dans la maison ne descend pas en dessous de 20°C).
- Une amélioration de l'atmosphère intérieure du bâtiment et de la serre permettant son utilisation pour de nombreuses activités :
 - la culture des fleurs
 - le stockage de denrées
 - la célébration des fêtes religieuses avec l'ensemble du village
 - la toilette des enfants ; à Beshud, de nombreuses femmes du village viennent avec leurs enfants à la serre solaire pour les baigner car c'est la pièce la plus confortable du village.

Présentation des 2 maisons rénovées



Rénovation d'une maison à Gardan Diwal,
District de Beshud, Province de Wardak à une altitude de 2 700 m. 108 m² habitables ; la maison comporte une étable et une pièce consacrée au tissage de tapis.

	Investissement
€	355
Par m ²	3,3
Par m ² avec serre	2,3
Matériaux	79 %
Main d'œuvre	21 %



Les équipements techniques supplémentaires :

- une augmentation de la surface des fenêtres en façade sud, lesquelles ont toutes un double vitrage extérieur (film plastique)
- une isolation de la toiture avec 10 cm de paille recouverte avec un mélange terre-paille de 5 cm d'épaisseur
- l'ajout d'une serre mitoyenne de 43 m² orientée au sud, composée d'une structure en bois et d'une couverture en plastique.



Construction d'une maison de réfugiés à Mulaian,
District de Bamyan, Province de Bamyan à une altitude de 2 400 m. 60 m² de surface habitable ; la maison comporte une serre mitoyenne de 62 m².

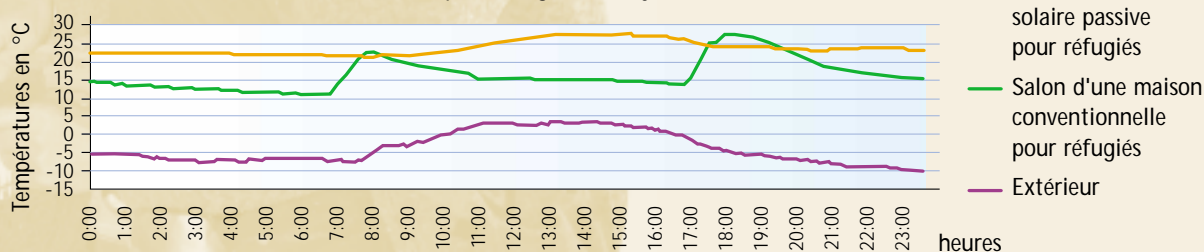
	Investissement
€	637
Par m ²	10
Par m ² avec serre	5,2
Matériaux	80 %
Main d'œuvre	20 %



Les équipements techniques supplémentaires :

- une augmentation de la surface des fenêtres en façade sud, lesquelles ont toutes un double vitrage extérieur (film plastique)
- une isolation de la toiture avec 10 cm de paille recouverte avec un mélange terre-paille de 5 cm d'épaisseur
- l'ajout d'une serre mitoyenne de 62 m² orientée au sud, composée d'une structure en bois et d'une couverture en plastique.

Comparaison des températures dans une maison solaire passive pour réfugiés et dans une maison conventionnelle pour réfugiés à Bamyan le 30/01/04



Pourquoi utiliser l'architecture solaire passive et l'efficacité énergétique pour la reconstruction de l'Afghanistan ?

Secteur	nombre prévu	Coût additionnel (€)	Economie après 10 ans (€)	Tonnes de CO ₂ évité après 10 ans
Centres de santé de base	400	7 100	4 450 000	86 000
Centres de santé	150	10 850	4 460 000	74 000
Résidences des enseignants	4 000	2 500	31 700 000	533 000
Habitats pour réfugiés	50 000	585	279 000 000	7 500 000
Maisons d'habitation	50 000	2 500	442 000 000	5 600 000
Total			761 610 000	13 793 000

Ce tableau résume, par type de bâtiment, les coûts additionnels de l'utilisation de l'architecture solaire passive et de l'efficacité énergétique.

Il évalue les économies financières réalisées et la réduction d'émissions de CO₂ cumulées sur 10 ans d'utilisation. Il souligne particulièrement les enjeux financiers pour le budget de l'Etat afghan et pour les particuliers.

En plus des bénéfices financiers évidents apportés par l'architecture solaire passive, d'autres avantages doivent être rappelés :

- L'augmentation de la température intérieure améliore le confort des usagers et des habitants.
- La faible consommation de bois, bouses séchées et autres combustibles combinée avec l'utilisation de fours performants permet une baisse de la production de fumées nocives ; la bouse séchée peut aussi être bien mieux utilisée comme fertilisant agricole.
- L'augmentation de l'activité économique du pays par l'embauche de main d'œuvre pour la construction et la production supplémentaire de matériaux de construction. Par conséquent, les compétences des artisans locaux sont améliorées et de petites entreprises locales s'établissent afin de produire de nouveaux matériaux.
- La diminution de la consommation de bois contribue à la sauvegarde de la forêt afghane excessivement déboisée.
- L'utilisation plus efficace du bois de chauffage contribue à la protection de l'environnement notamment en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.



République Islamique d'Afghanistan

A D E M E



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

27, rue Louis Vicat
75737 Paris cedex 15
<http://www.ademe.fr>



France
2, crs Maréchal Foch
13400 Aubagne
<http://geres.free.fr>

Afghanistan
Quala-e-fatullah, street 2, N°24
Kabul
geres_kaboul@hotmail.com