



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Serres et énergies alternatives techniques et applications

Christophe JEAN – Kaora



k a o r a

Avant-propos

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Bonjour,

Je m'appelle Christophe JEAN, je suis co-fondateur de la société Kaora, spécialisée en études et conseil en énergies renouvelables et maîtrise de la demande en énergie.

Créée en 2004 par deux associés, à Avignon (Vaucluse).

Domaines d'application :

Solaire thermique

Solaire photovoltaïque

Bois-énergie

Petit éolien

Maîtrise de la demande en énergie

Interventions auprès de maîtres d'ouvrages Privés, Publics et Particuliers.

👉 Développement d'une spécialité dans le domaine des serres (maraîchères et horticoles)



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Energie alternative

Energies alternatives, énergies renouvelables, énergies nouvelles...

*D'une manière générale, ces termes désignent les **sources d'énergie** constituant une **alternative** aux **combustibles fossiles**, principalement composés de carbone et d'hydrogène (charbon, pétrole, gaz naturel). Leur combustion provoque un dégagement de **gaz carbonique** (CO₂), reconnu comme principal contributeur à l'**effet de serre**, cause du **réchauffement climatique**.*



k a o r a

Energies renouvelables

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Les énergies renouvelables sont inépuisables.

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux et le recyclage des déchets, leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets ni d'émissions polluantes.

On qualifie les énergies renouvelables d'énergies "flux" par rapport aux énergies "stock", elles-mêmes constituées de gisements limités de combustibles fossiles : pétrole, charbon, gaz, uranium.

Observ'ER



k a o r a

Energies renouvelables (EnR)

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Les cinq familles

Solaire

Eolien

Hydraulique

Biomasse

Géothermie



k a o r a

Energie solaire

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Les deux types d'énergie solaire :

Solaire Thermique

- Production de chaleur
- *600 kWh/m².an*

Solaire Photovoltaïque

- Production d'électricité
- *120 kWh/m².an*



k a o r a

Solaire thermique

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Objectif : Produire de la chaleur

Moyen : Capteurs solaires thermiques



Capteurs plans



Capteurs sous vide



kaora

Solaire thermique

Capteur solaire

Études et

Conseil en

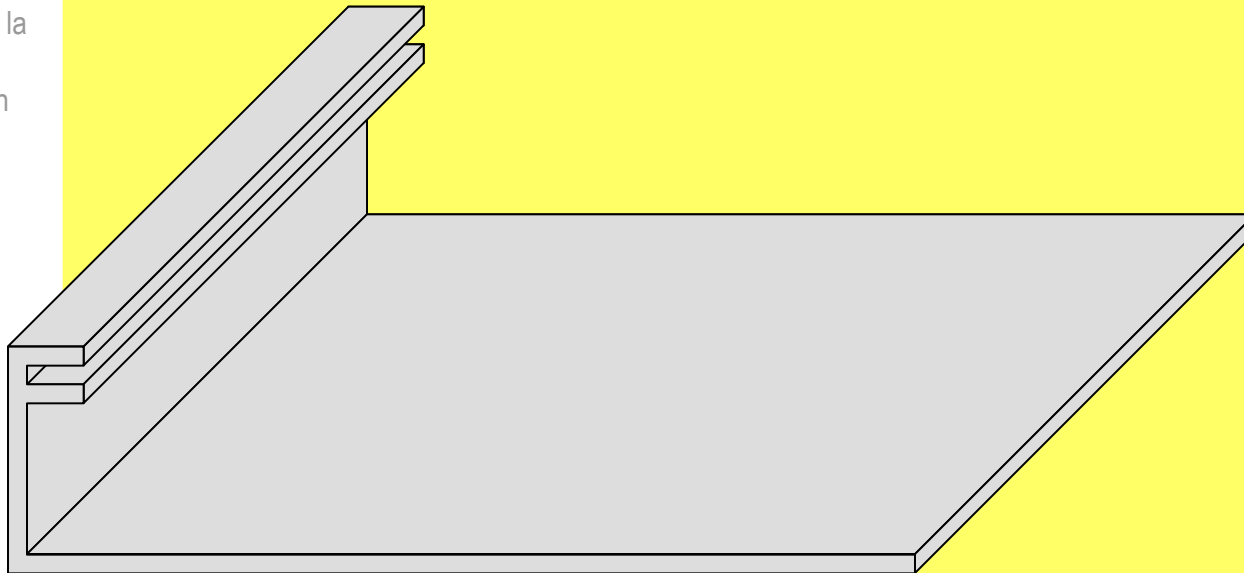
Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie



Châssis



kaora

Solaire thermique

Capteur solaire

Études et

Conseil en

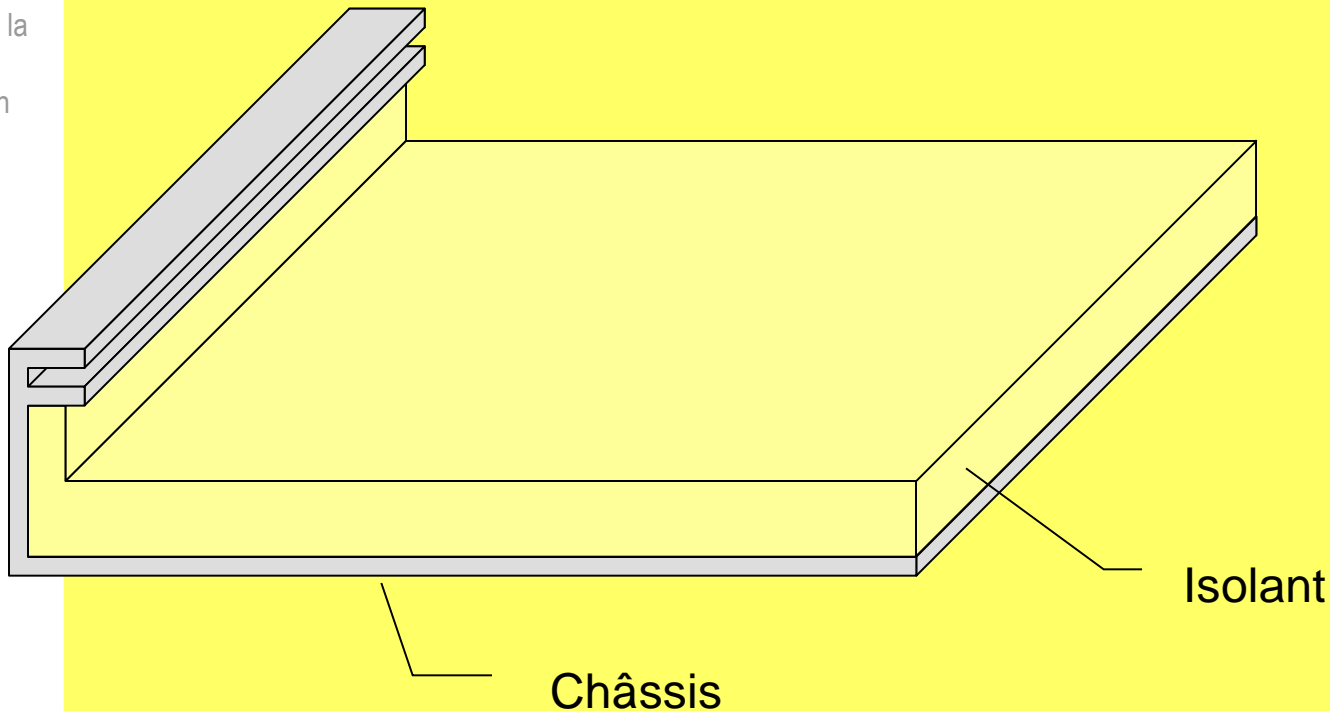
Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

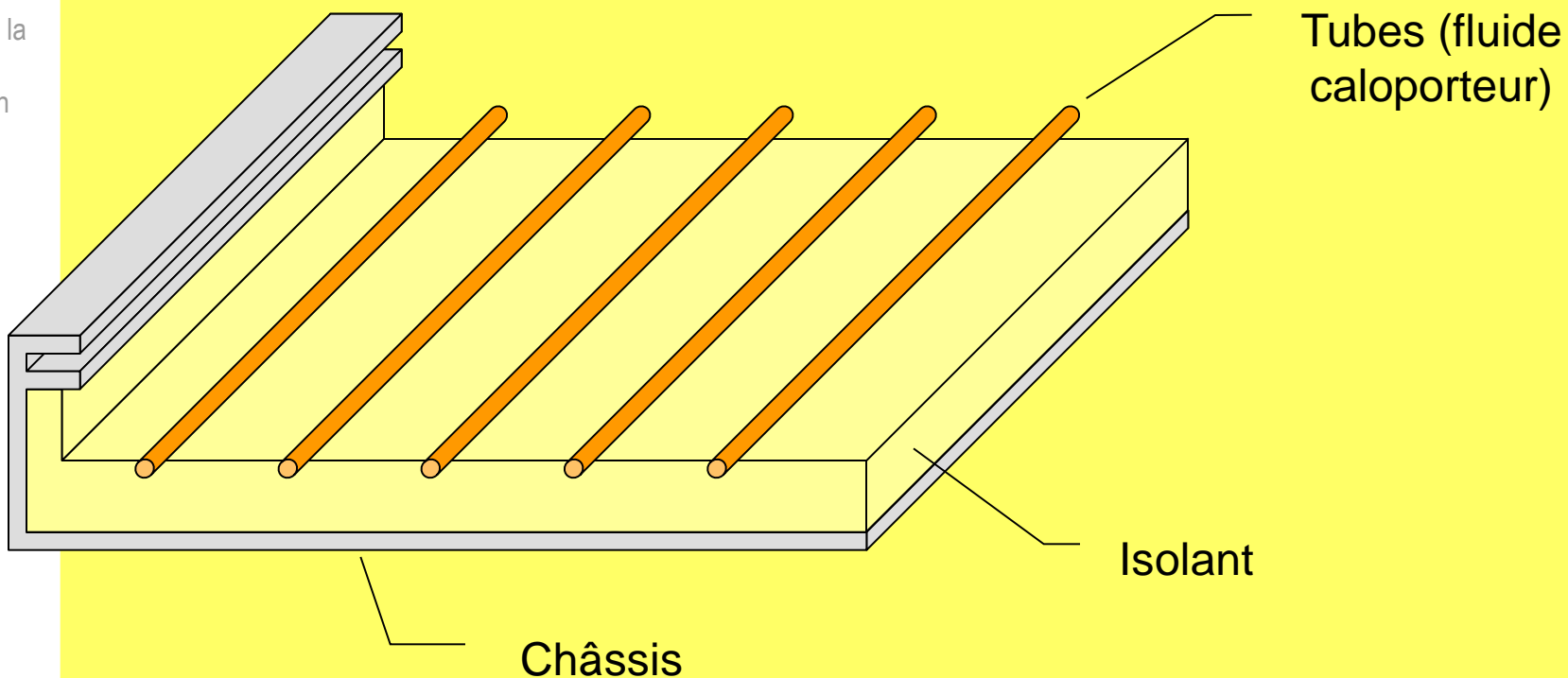
Demande en

Énergie



Solaire thermique

Capteur solaire

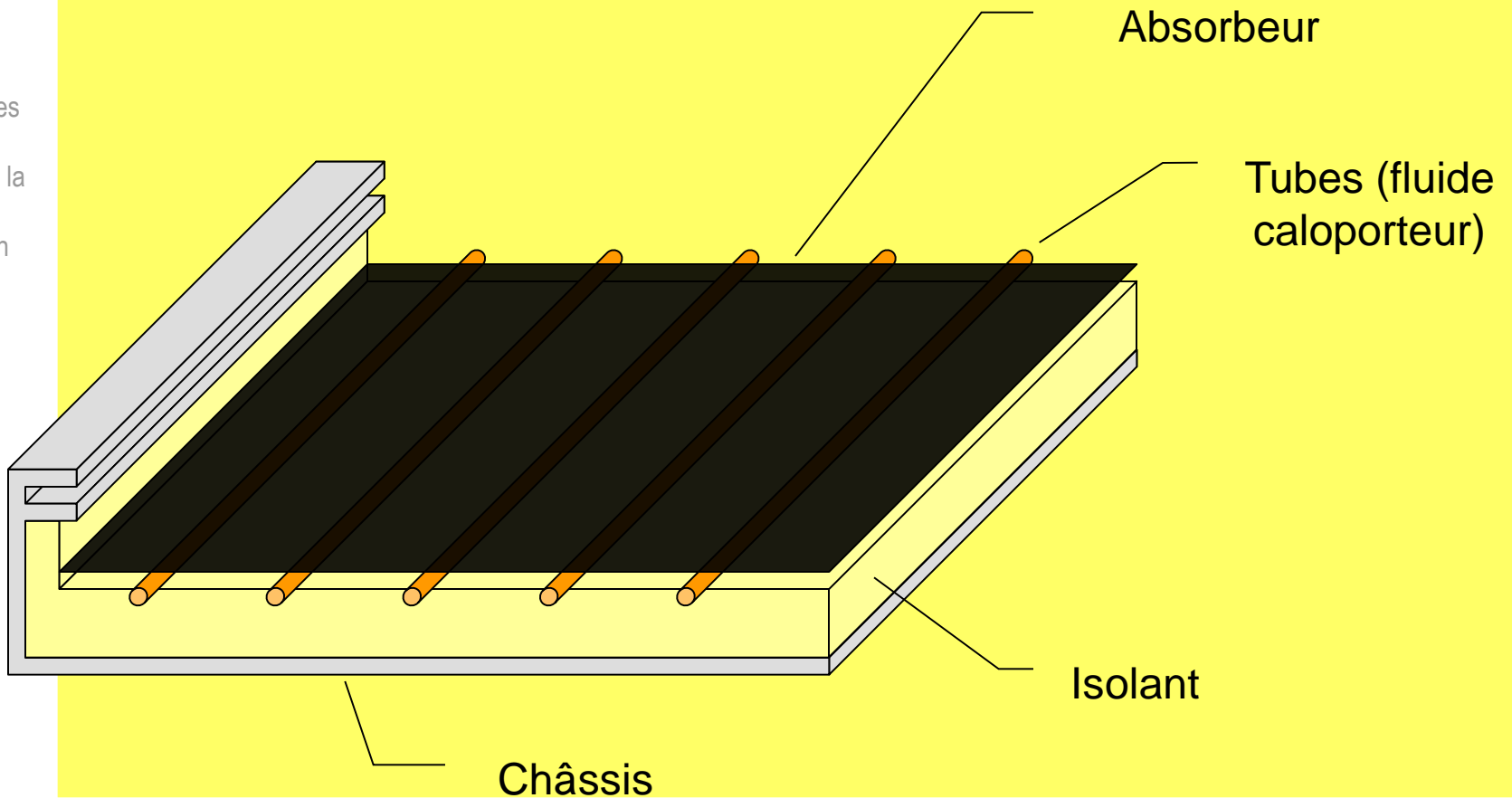


Études et
Conseil en
Énergies
Renouvelables
et Maîtrise de la
Demande en
Énergie

Solaire thermique

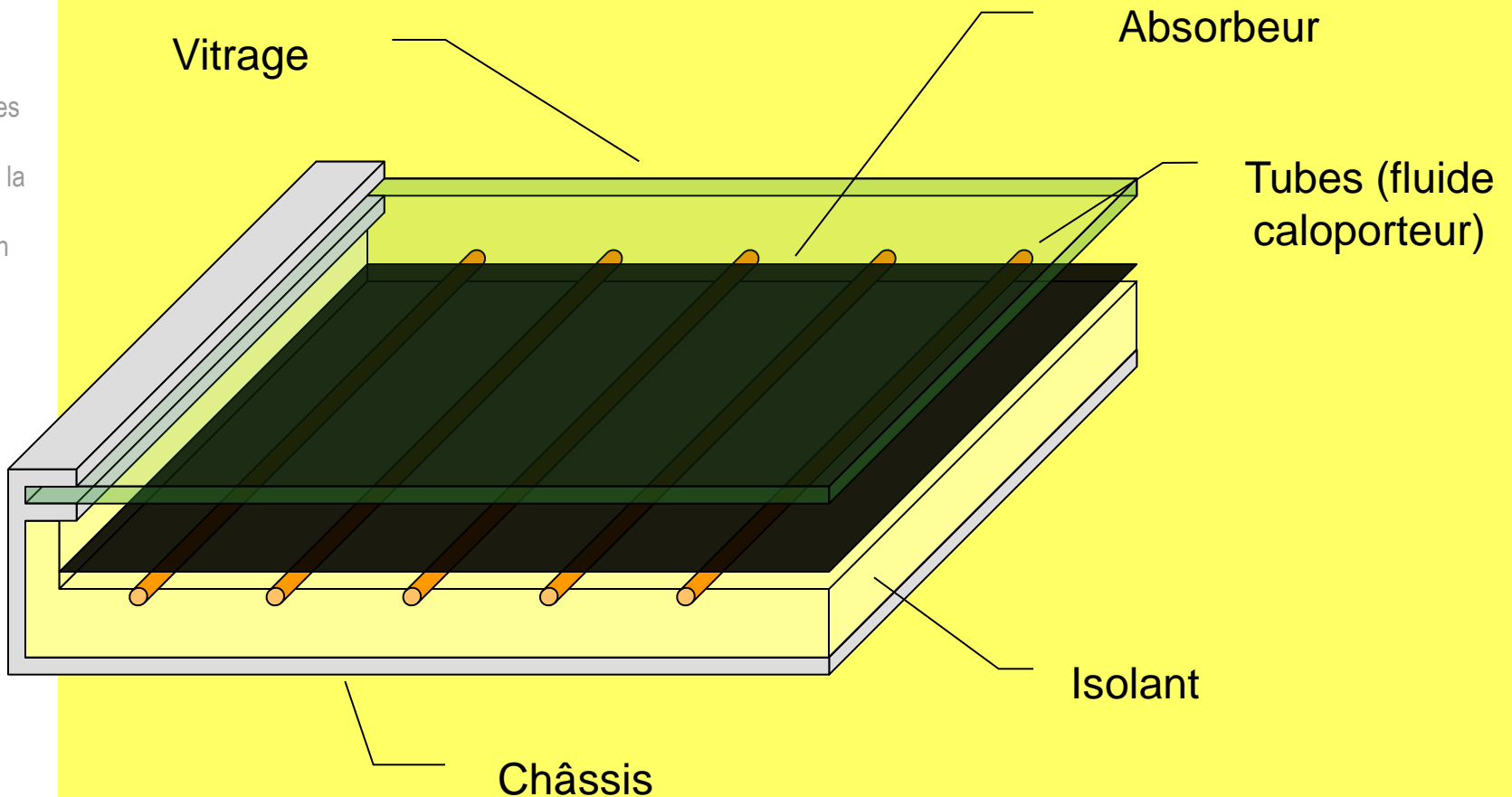
Études et
Conseil en
Énergies
Renouvelables
et Maîtrise de la
Demande en
Énergie

Capteur solaire



Solaire thermique

Capteur solaire



Études et
Conseil en
Énergies
Renouvelables
et Maîtrise de la
Demande en
Énergie

Solaire thermique

Capteur solaire

Études et

Conseil en

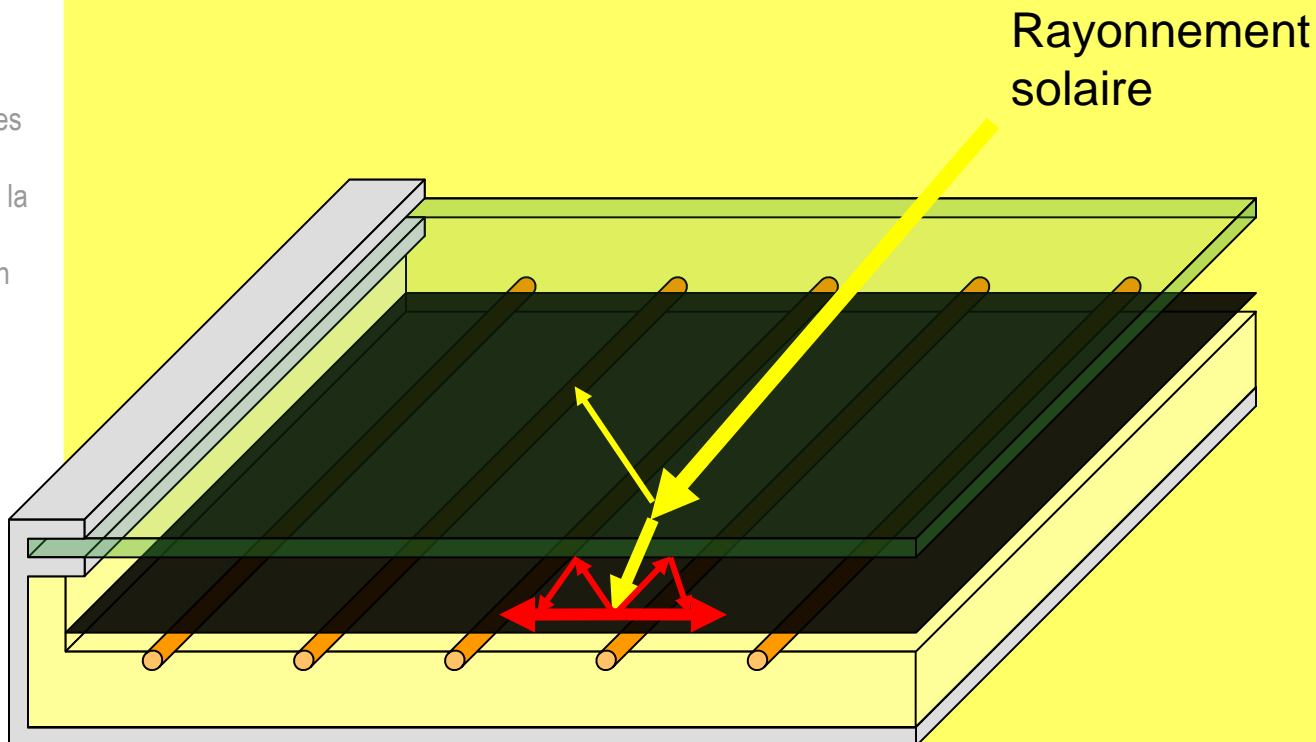
Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie





kaora

Solaire thermique

Capteur solaire

Études et

Conseil en

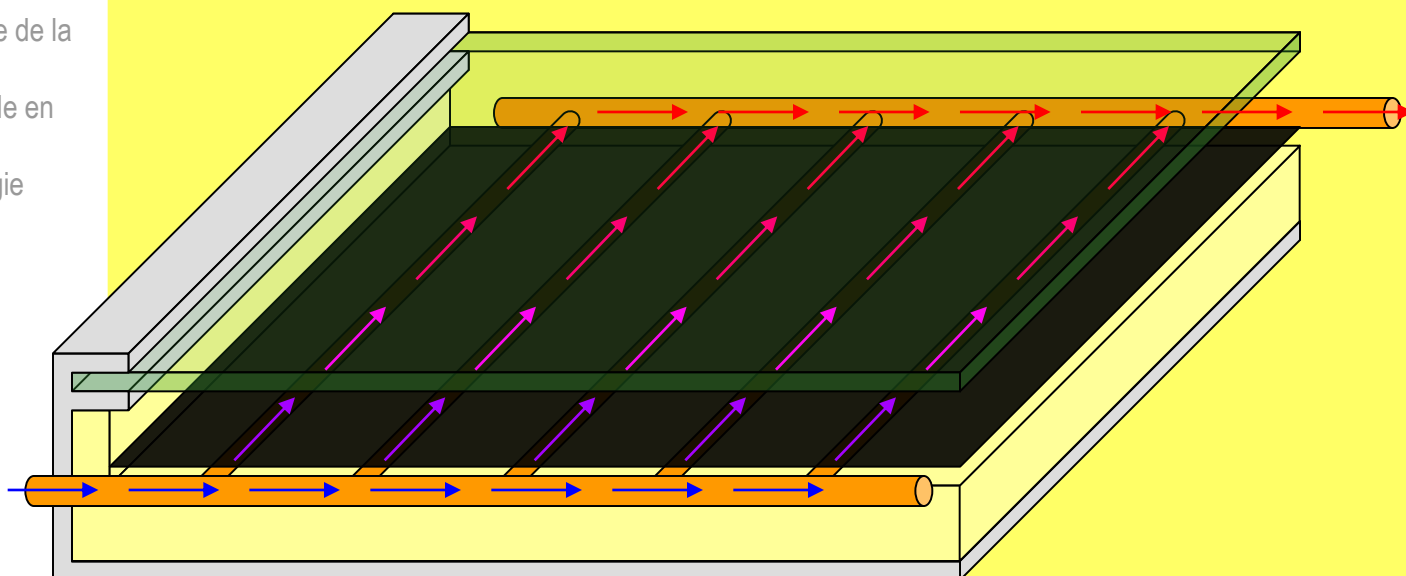
Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie



Solaire thermique

La production d'énergie est optimisée si le rayonnement solaire est perpendiculaire au plan du capteur.

Orientation : sud

Inclinaison (latitude 45°) :

- 30° pour favoriser la production d'été (ex. camping)
- 60° pour favoriser la production d'hiver (chauffage)

Production annuelle \approx 600 à 700 kWh/m².an



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Solaire thermique

Chauffage de serres ?

Peu adapté : pour répondre aux besoins de chaleur d'une serre, il faudrait une surface de capteurs au moins équivalente à celle de la serre.

Eventuellement en appoint.

La serre est-elle même un capteur solaire. La vraie question est celle du stockage de la chaleur (jour > nuit, été > hiver)



k a o r a

Solaire Thermique

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie





k a o r a

Solaire photovoltaïque

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Objectif : Produire de l'électricité
Moyen : Modules solaires photovoltaïques.



Photo Schüco

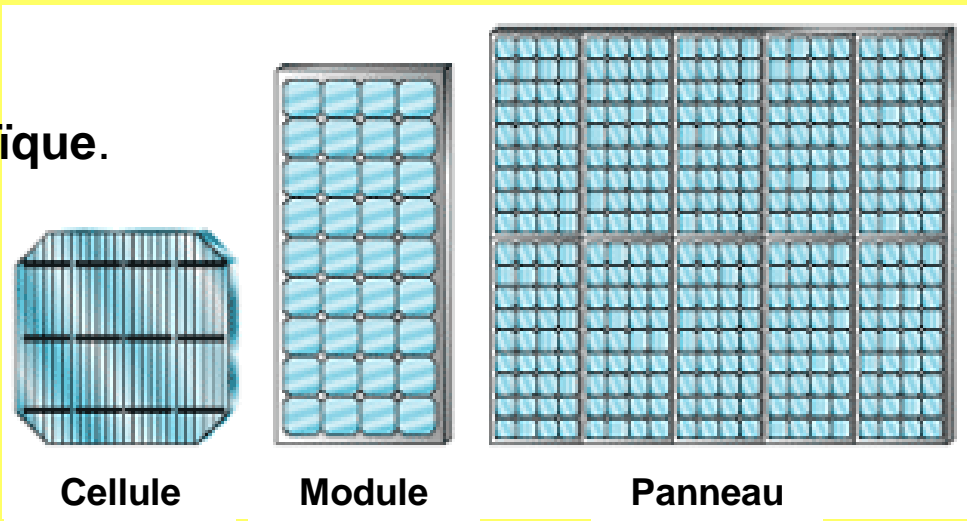


Solaire Photovoltaïque

Principe de fonctionnement

- Produire de l'électricité à partir du rayonnement solaire.
- A partir de **cellules** photovoltaïques en silicium, assemblées en série en **modules** produisant un courant continu (12 V).
- L'assemblage de modules en panneaux constitue un **générateur photovoltaïque**.

**1 m² de module =
puissance 120 Wc**





Solaire Photovoltaïque

Installation en site isolé

- Pour alimenter en électricité une habitation ou un équipement non relié au réseau de distribution (de plus en plus rare). Nécessité de batteries pour faire face aux irrégularités de la production.

- Prise en concession par EDF.

20 m² environ pour une habitation familiale.



Refuge de Barroude – Hautes Pyrénées (TECSOL)



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Solaire Photovoltaïque

Installation raccordée au réseau

- L'habitation est connectée au réseau. L'électricité produite est partiellement ou en totalité vendue à EDF.
- ***L'obligation d'achat de l'électricité ainsi produite, combinée à un tarif avantageux (0,32 € / kWh ou 0,57 € / kWh si intégration au bâti) incitent à vendre la totalité de la production électrique.***
- Applicable à tous types de maître d'ouvrage privés ou publics (particuliers, entreprises, associations, collectivités...)



kaora

Solaire Photovoltaïque

Installation raccordée au réseau

Études et

Conseil en

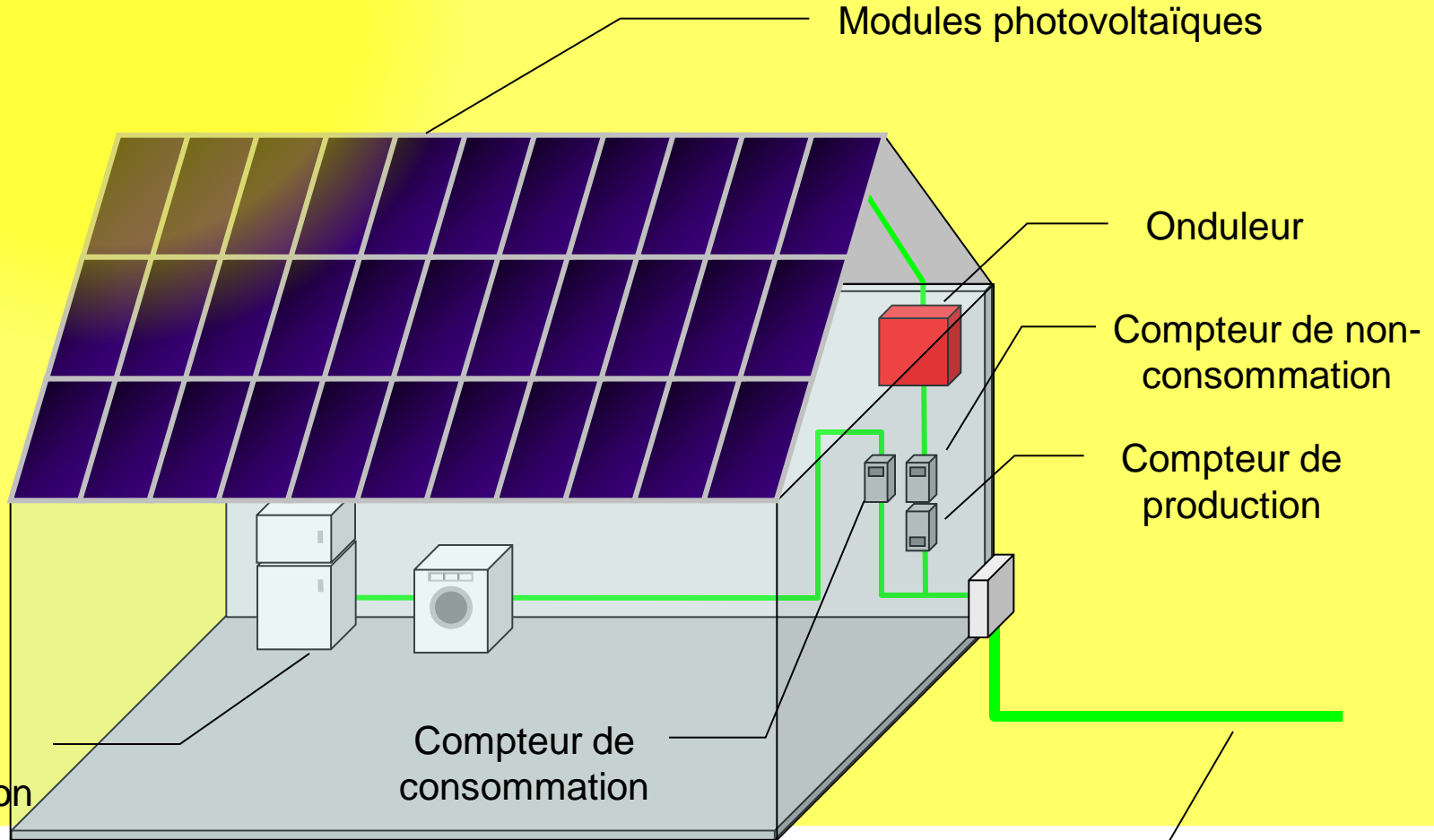
Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie



Postes de consommation

Compteur de consommation

Réseau de distribution EDF



Solaire photovoltaïque

- La production d'énergie est optimisée si le rayonnement solaire est perpendiculaire au plan du capteur.
- Orientation : sud
- Inclinaison (latitude 45°) :
 - 30° pour favoriser la production d'été
 - 60° pour favoriser la production d'hiver
 - 35° pour favoriser la production annuelle (vente en totalité à EDF)

Production annuelle \approx 100 à 140 kWh/m².an



k a o r a

Solaire photovoltaïque

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie





korora

Solaire photovoltaïque

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie





kaor'a

Solaire photovoltaïque

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie



*Jardins Botaniques de Bordeaux –
37 kWc modules monocristallins
semi-transparents*





k a o r a

Bois-énergie

Études et

Conseil en

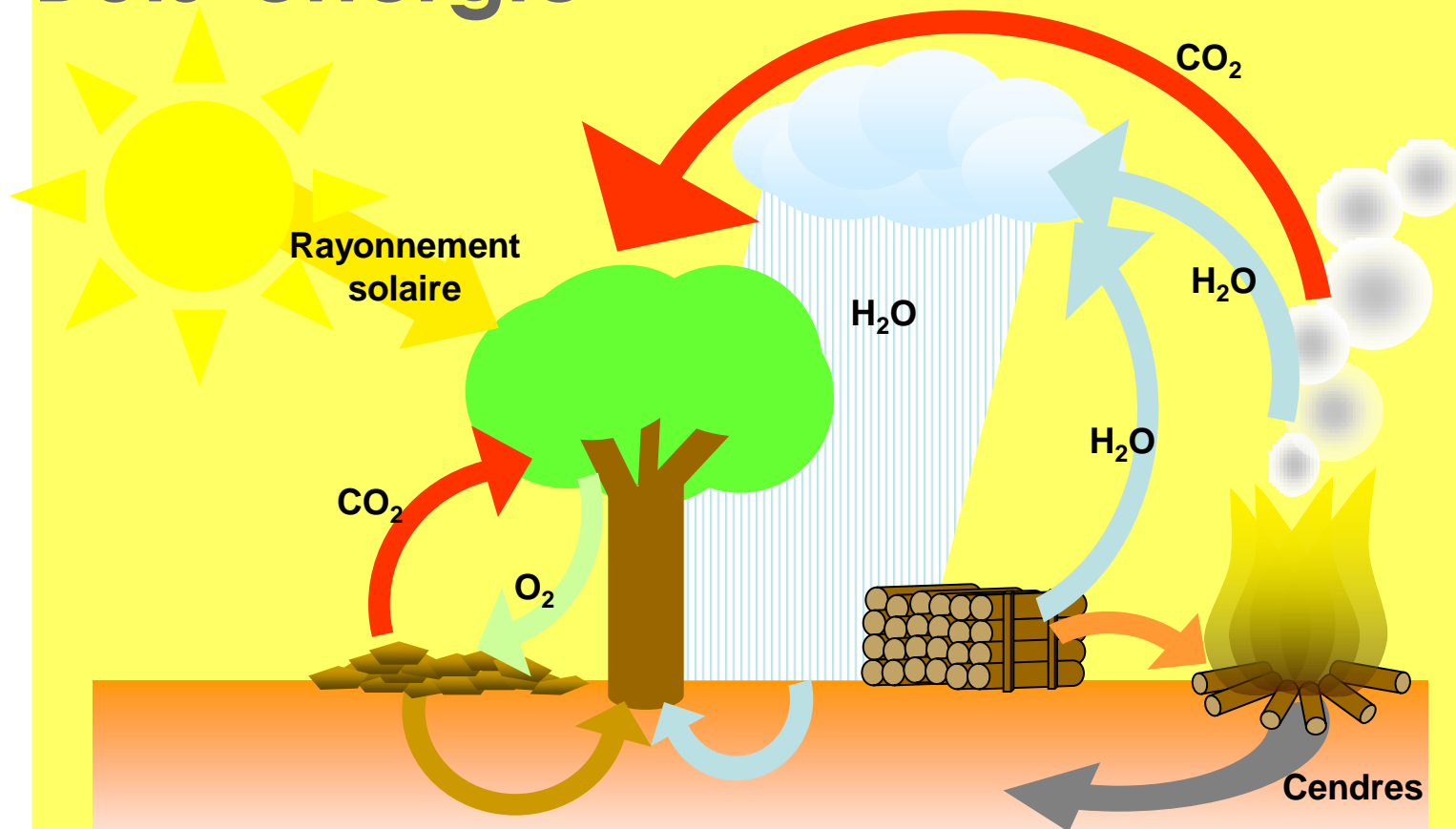
Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie



La quantité de CO₂ dégagée lors de la combustion du bois est comparable à celle produite naturellement lors de sa décomposition, cette quantité de CO₂ correspond à celle qui a été extraite de l'air pour la photosynthèse au cours de la croissance de l'arbre. Un équilibre est de la sorte obtenu. Le bilan théorique sur le CO₂ produit est donc neutre.

L'utilisation du bois comme source d'énergie rentre dans le cycle naturel du carbone

Bois-énergie

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Il existe aujourd'hui des combustibles bois pratiques d'utilisation et dont l'approvisionnement peut être garanti



Plaquettes de bois
obtenues par déchetage



Granulés de bois

fabriqués uniquement à partir de sciures de bois compressées sans agent de liaison.



kaora

Bois-énergie

Études et

Conseil en

Énergies

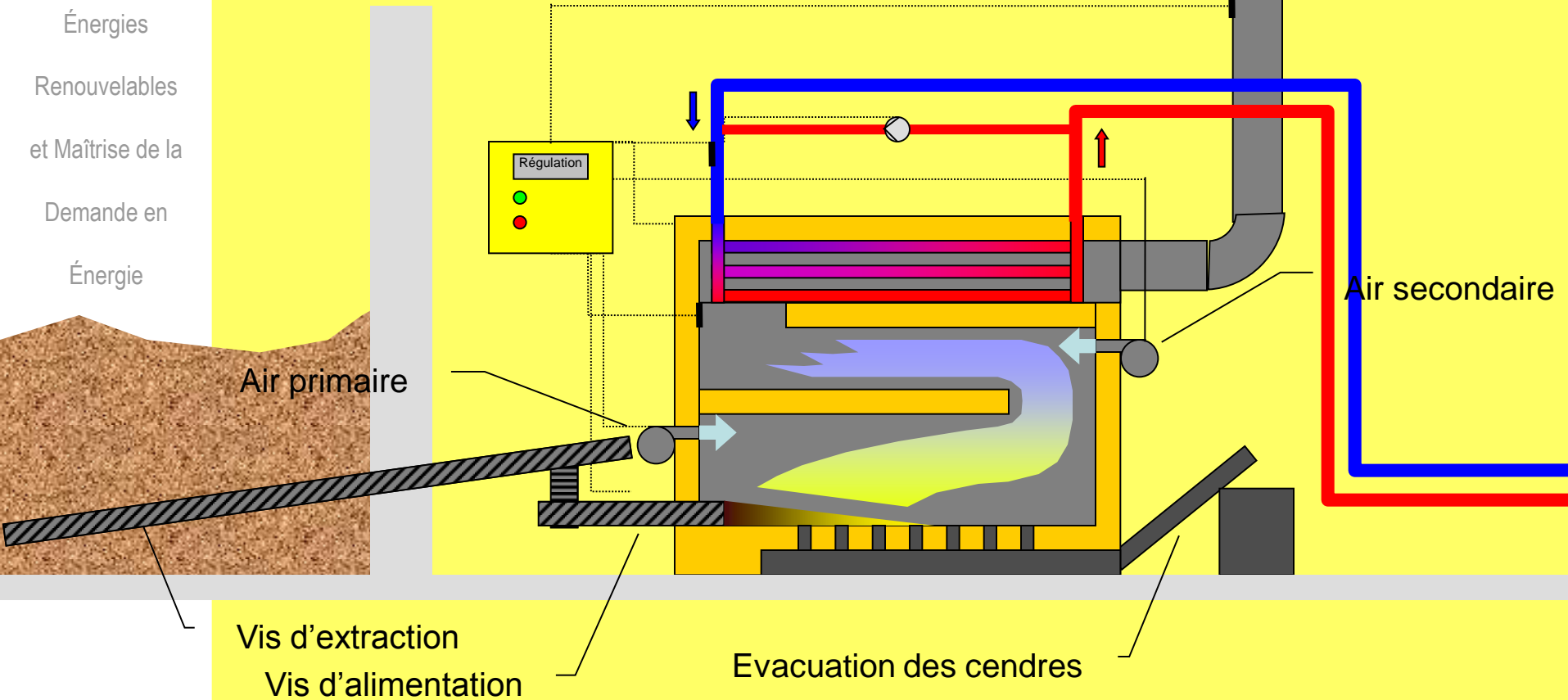
Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Principe de fonctionnement d'une chaudière automatique à bois déchiqueté



Vis d'extraction

Vis d'alimentation

Evacuation des cendres

Air secondaire

Bois-énergie

Études et

Conseil en

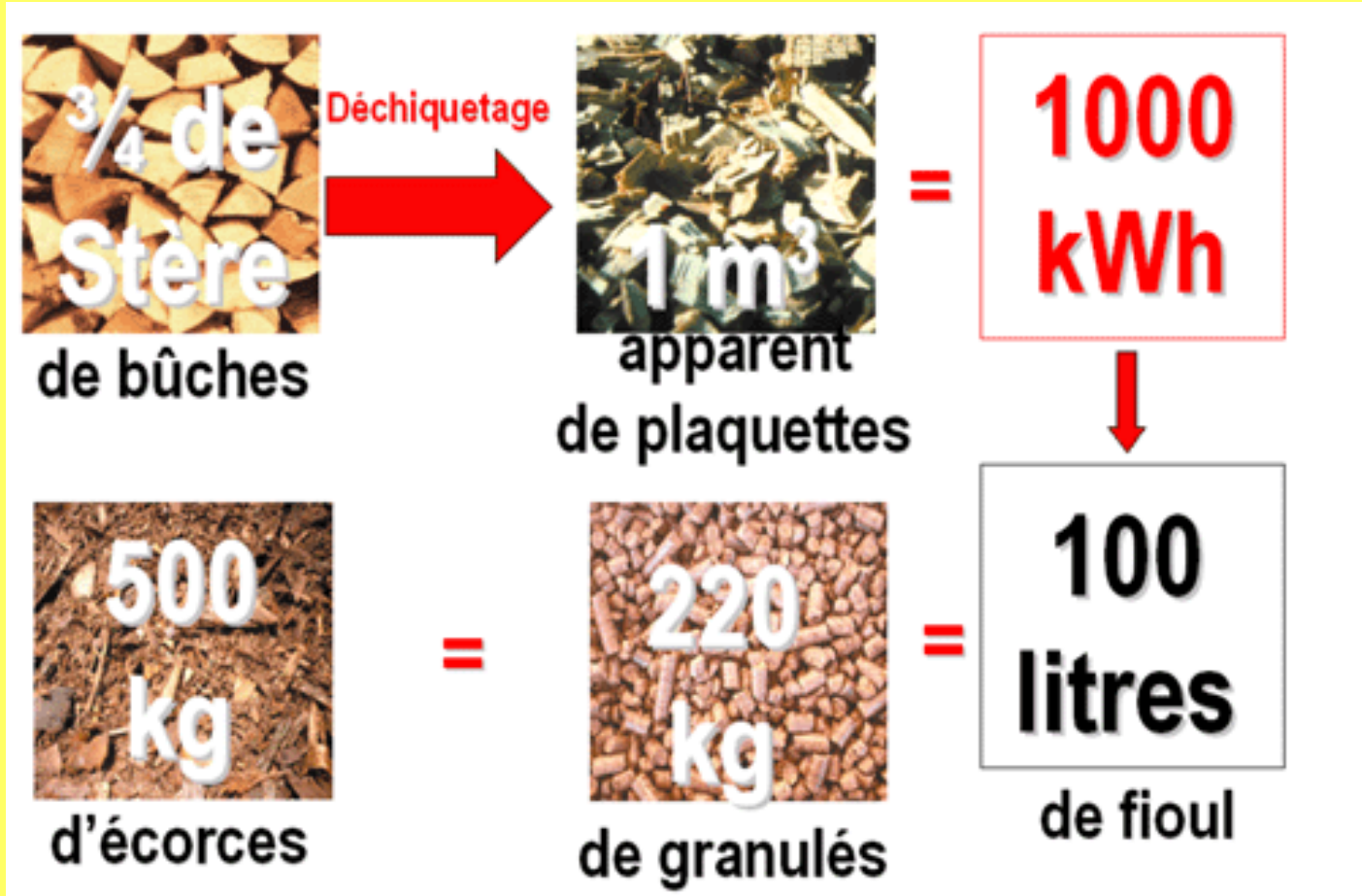
Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie



www.itebe.fr



kaora

Bois-énergie

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie





kaora

Bois-énergie



*Livraison chaufferie Curel (04)
Silo 50 m³ semi-enterré*



Jardin
Botanique
de Lyon

Jardins
botaniques
de France
et des pays
francophones

botanik

*Les serres : Aspects techniques, scientifiques, muséographiques et pédagogiques Lyon,
du 21 au 24 octobre 2008*



kaora

Bois-énergie



*Silo aérien équipé d'une trémie de déchargement et d'une vis de relevage
Cabrières d'Avignon (84)*



k a o r a

Bois-énergie - Exemple de projet

Chauffage de serres horticoles au bois-énergie

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie



- Production horticole sur 3500 m² répartis en 5 serres, actuellement chauffées par des chaudières autonomes au fioul domestique (90.000 litres/an).



Bois-énergie - Exemple de projet

Chauffage de serres horticoles au bois-énergie

Solution proposée :

- Chaudière bois-énergie centralisée 400 kW, desserte par réseau de chaleur avec conservation de certaines des chaudières fioul existantes (appoint + secours) pour une puissance totale disponible de 850 kW.
- Couverture bois = 85% des besoins en énergie.
- **Investissement total :** **210.000 € HT :**
 - Génie civil (dont aménagement voirie) 60.000 € HT
 - Chaudière bois et périphériques : 90.000 € HT
 - Réseau de chaleur et sous-stations : 45.000 € HT
 - Ingénierie : 15.000 € HT
- Solution de référence : **35.000 € HT**
(remplacement 5 chaudières fioul)

Soit un surcoût de 175.000 €.



Bois-énergie - Exemple de projet

Chauffage de serres horticoles au bois-énergie

Coûts d'exploitation :

- Solution bois-énergie : 25.000 € HT /an
- Solution de référence (fioul domestique) : 55.000 € HT / an
- **Economie annuelle : 30.000 € HT / an**
- D'où le temps de retour brut (TRB) hors aides :
 - sur investissement 7 ans
 - sur surcoût d'investissement 6 ans

Aides à l'investissement : 60.000 €

- ADEME + Région : différence pour TRB sur surcoût = 5 ans, soit 25.000 €, soit 14% du surcoût (maximum = 40%)
- CG06 : 20% du surcoût, soit 35.000 €.
- D'où le temps de retour brut (TRB) avec aides :
 - sur investissement 5 ans
 - sur surcoût d'investissement 4 ans



Les deux types de géothermie :

Géothermie haute énergie

- Captation de chaleur dans le sous-sol (+ 1°C / 30 m)
- Distribution de chaleur et production d'électricité (température élevée, jusqu'à 250°C)
- Installations industrielles sur sites adaptés

Géothermie (très) basse énergie

- Captation de chaleur emmagasinée dans le sol (chauffé par le soleil et la pluie)
- Production de chaleur par pompe à chaleur (basse température, environ 40°C)
- Usage domestique ou tertiaire

Géothermie basse énergie / Pompes à chaleur

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

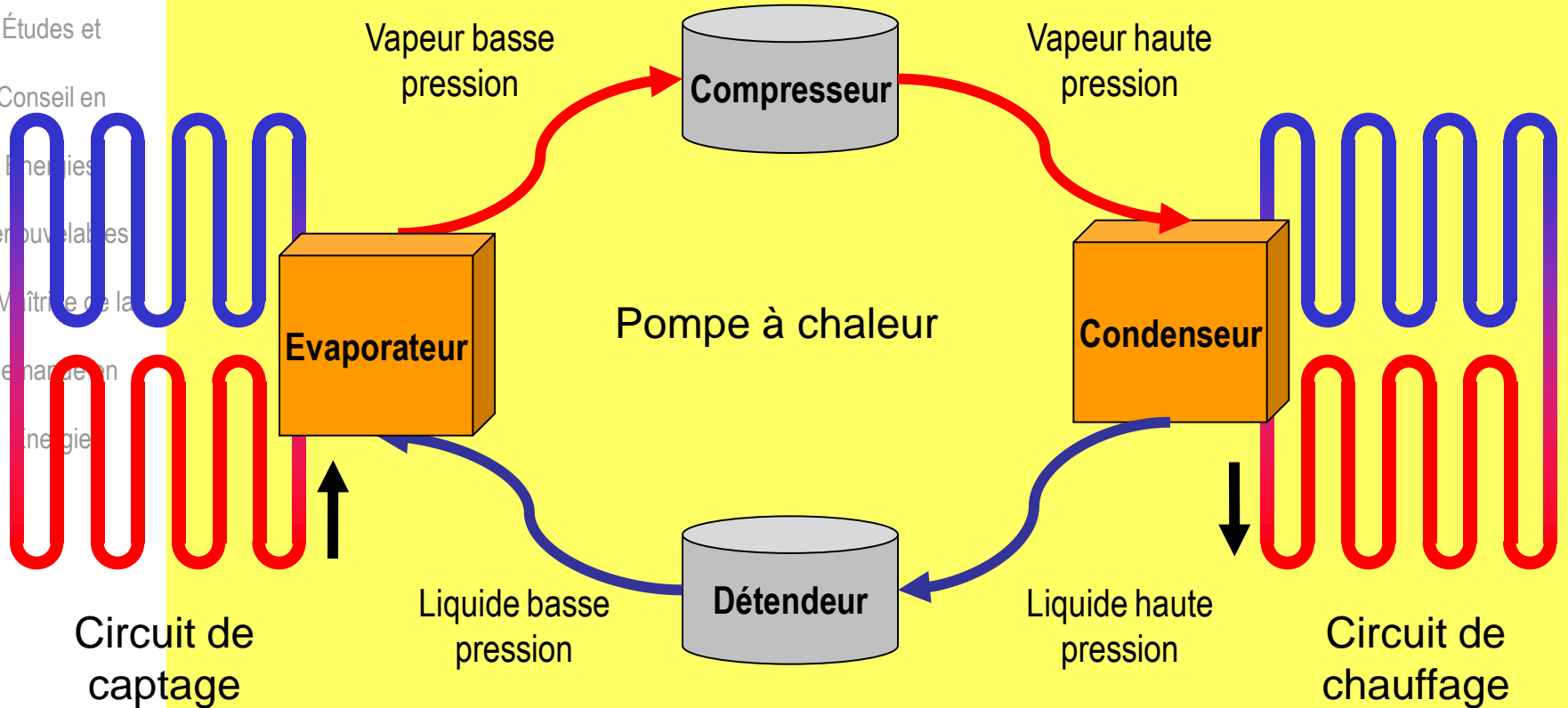
Énergie

Objectif : Produire de la chaleur / du froid
Moyen : Pompes à chaleur

La géothermie n'est pas à proprement parler une énergie renouvelable au sens où elle nécessite une source d'énergie électrique. Toutefois, la majeure partie de l'énergie produite est fournie par une source chaude naturelle (sol, nappe phréatique, air).

Géothermie basse énergie / Pompes à chaleur

Études et
Conseil en
Énergies
Renouvelables
et Maîtrise de la
Demande en
Énergie



Dans le sol, en captage horizontal, vertical, ou sur nappe phréatique

Emetteurs basse température : plancher chauffant ou radiateurs spécifiques



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Géothermie / Pompes à Chaleur

- **Adaptation au chauffage de serres :**
 - Tout-à-fait adaptées (plutôt basses températures)
 - Particulièrement si nappe phréatique « chaude » et à proximité



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

EnR – Caractéristiques communes

- ✓ Impact environnemental nul ou faible
- ✓ Inépuisables
- ✓ Locales
- ✓ Peu coûteuses en exploitation



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

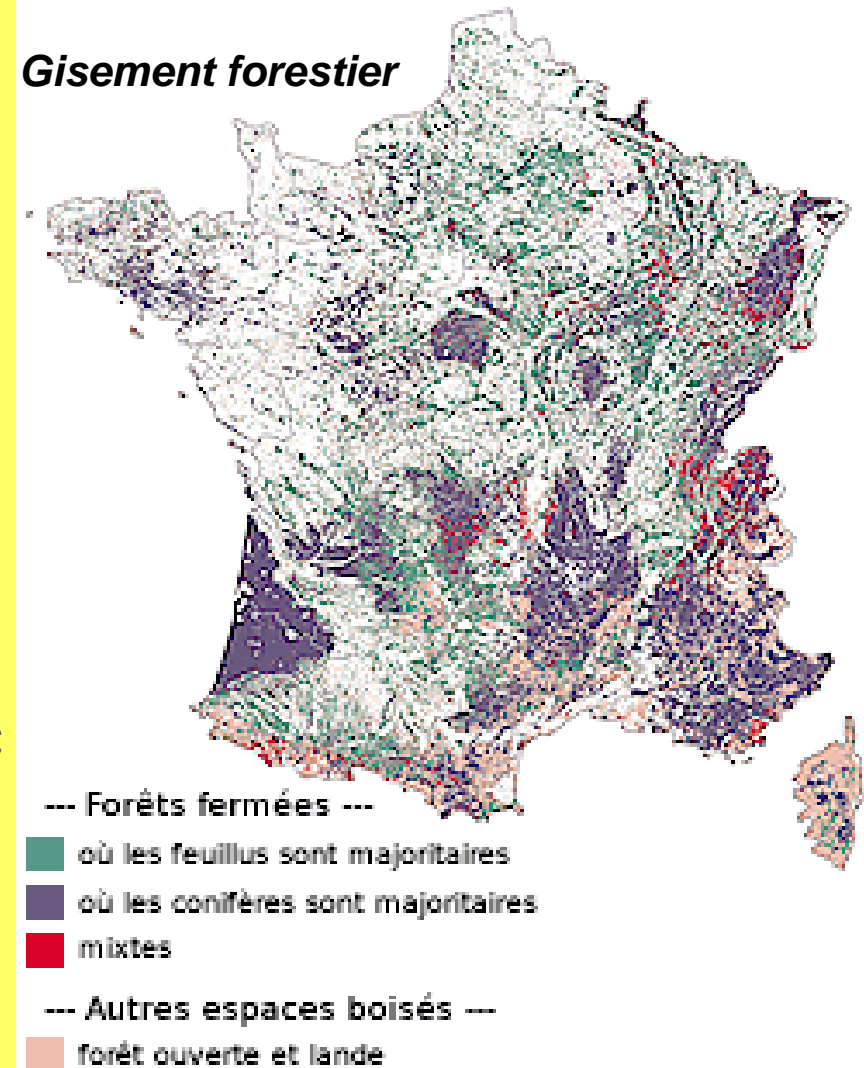
Énergie

Caractéristiques d'un projet EnR

Ressources locales

- Adaptées aux conditions du lieu d'installation (climatiques, géographiques...)
- En cohérence avec l'environnement économique

Gisement forestier





k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Caractéristiques d'un projet EnR

Ressources “gratuites” et inépuisables

- ☀ Soleil
- ☀ Vent
- ☀ Cours d'eau
- ☀ Sous-sol
- ☀ Biomasse
 - Naturelle
 - Produite, cultivée
 - Recyclée



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Caractéristiques d'un projet EnR

Pas de rentabilité immédiate

- Investissements importants
 - 2 à 10 fois plus chers que les équipements « traditionnels »
- Coût des énergies fossiles encore (relativement) faible
- ***Temps de Retour Brut (*) généralement compris entre 8 et 12 ans, toutes aides déduites.***
() surcoût d'investissement / économie d'exploitation annuelle*



Caractéristiques d'un projet EnR

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

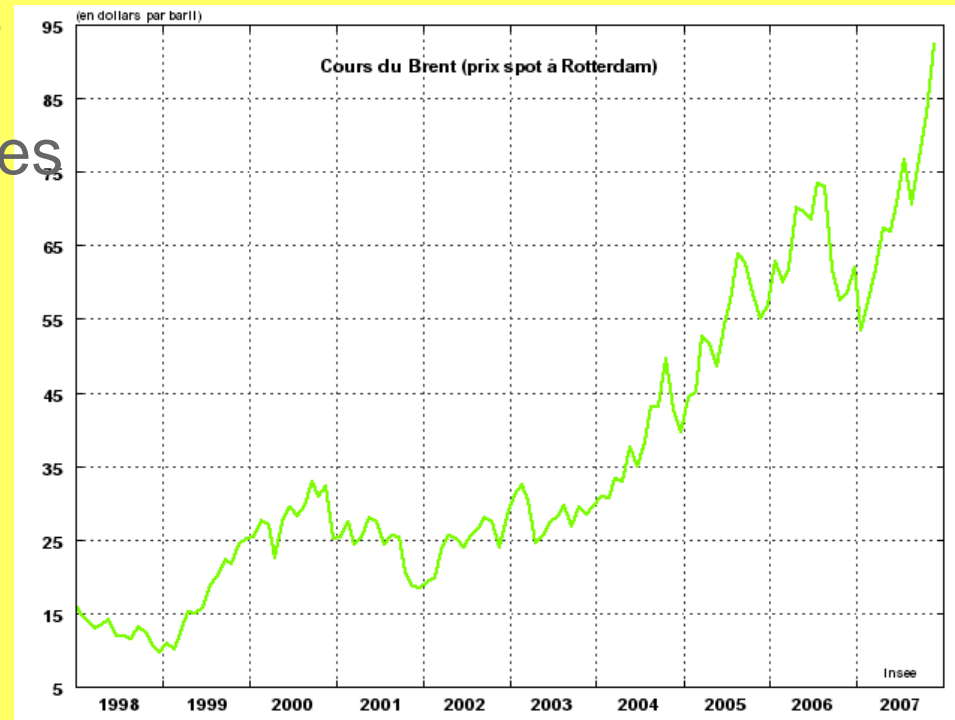
et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Vision à long terme

- Hausse importante et régulière du prix des énergies fossiles (*quadruplé en 5 ans*)
- Raisonner sur la durée de vie des équipements (20 ans et plus)
- Valeurs actualisées (VAN, TRI, ROI...)





k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Caractéristiques d'un projet EnR

D'autres motivations sont nécessaires pour passer à l'acte

- Sensibilité écologique
 - De plus en plus partagée
- Intérêt économique indirect
 - Image de marque
 - Electorat
 - Sensibilité du marché
- Positionnement stratégique

*En général, un **projet réussi** s'inscrit dans une **démarche globale** du maître d'ouvrage.*



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

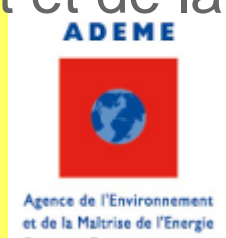
Demande en

Énergie

Caractéristiques d'un projet EnR

Des aides spécifiques sont accessibles

- ☀️ Aides à l'investissement (variables, de l'ordre de 20 à 80% du surcoût HT)
 - Etat, via l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
 - Régions, Départements, Communautés de communes...
 - Dispositifs nationaux (Circulaire Serres, Plan végétal environnement)
- ☀️ Aides à l'exploitation
 - Prix favorable sur kWh vendu (photovoltaïque)
- ☀️ Crédit d'impôt pour particuliers
- ☀️ Certificats d'Economie d'Energie (pas mûr)





k a o r a

Conduite du projet

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Un projet d'énergie alternative met en œuvre des solutions encore marginales, au coût élevé, dont le bénéficiaire profite à long terme au maître d'ouvrage mais aussi à toute la collectivité. Pour ces raisons, ce projet peut profiter d'aides financières publiques.

Il est impératif de clairement évaluer la **faisabilité du projet** avant de passer en phase de réalisation.



Conduite du projet

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Etude de faisabilité

Plus généralement, nous traiterons de tous les types d'études préalables à une décision d'investissement (pré-diagnostic, diagnostic, faisabilité)

🔴 Son objectif est d'**informer** (et rassurer) le maître d'ouvrage et les organismes financeurs sur la **viabilité** du projet, d'un point de vue :

1. **Technique**
2. **Écologique**
3. **Économique**
4. **Règlementaire**



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Objectifs de l'étude de faisabilité

1. Viabilité Technique

- **Valider** l'adéquation de la solution envisagée avec son environnement
- **Proposer** une solution technique et pré-dimensionner les systèmes
- **Inform**er sur les solutions et les acteurs envisageables (fabricants, installateurs, fournisseurs...)
- **Projeter** l'installation et l'exploitation des équipements



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Objectifs de l'étude de faisabilité

2. Viabilité Ecologique

- **Valider** l'adéquation de la solution envisagée avec son environnement
- **Calculer** la contribution écologique de la solution
 - Économies d'énergie
 - Limitations d'émission de gaz à effet de serre
 - ☞ En comparaison avec l'existant
- **Proposer** des solutions alternatives écologiques (à faible impact sur l'environnement)
 - Économies d'énergie, choix des matériaux...



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Objectifs de l'étude de faisabilité

3. Viabilité économique

- **Estimer** les coûts associés aux solutions proposées
- **Inform**er sur les aides au financement accessibles
- **Calculer** un temps de retour sur investissement

- Temps en années au bout duquel l'investissement est « remboursé »
- Avec et sans aides à l'investissement
- Compléter avec calcul actualisé de VAN, TRI

$$TRB = \frac{\text{Surcoût d'investissement}}{\text{Economie annuelle d'exploitation}}$$



k a o r a

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Objectifs de l'étude de faisabilité

4. Viabilité réglementaire

- **Détecter** les contraintes réglementaires associées au projet
 - Sécurité
 - Environnement, nuisance
 - Construction, voirie, réseaux...
- **Inform**er sur les lois et règlements applicables
- **Assister** le maître d'ouvrage dans ses démarches réglementaires
 - Plans, photos, mémoires, rencontres avec ABF...



k a o r a

Objectifs de l'étude de faisabilité

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Et, quelle que soit l'énergie envisagée,
ne pas perdre de vue :

**L'ENERGIE LA
MOINS CHERE ET
LA MOINS
POLLUANTE EST
CELLE QU'ON NE
CONSOMME PAS**



kaora

Études et

Conseil en

Énergies

Renouvelables

et Maîtrise de la

Demande en

Énergie

Merci de votre attention.