



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE



GRUPE ÉNERGIE / CUEPE

25 ans de recherche PV à l'Université de Genève

et... que peut-on attendre du PV ?

André Mermoud

Groupe Energie - ISE / Forel

20 septembre 2012



Sommaire

Première partie:

Historique

- recherches en Energie Solaire à l'UniGE
- développement de PVsyst

Seconde partie:

Que peut-on attendre du PV pour notre avenir énergétique ?

- Evolution de l'industrie du PV
- Mise en œuvre à Genève, en Suisse, en Allemagne, ...
- Instruments et limitations
- Une chance de développement pour les pays du Sud



Première partie

Débuts de l'énergie solaire à UniGE

Oct.1977 : Olivier Guisan crée le **GAP** (Groupe de Physique Appliquée)
pour amorcer la Recherche sur l'Energie Solaire à UniGE
⇒ petite équipe de 5 personnes

Axes de recherche:

- Etude de la **ressource** solaire (rayonnement)
- Etude des **transformateurs** (systèmes)

Ressource: étude du rayonnement

- 4 années de mesures d'ensoleillement à Genève (1978-1982)
 - ⇒ Thèse de Pierre Ineichen
- Etude des modèles de rayonnement:
 - Modèle de ciel clair, de transposition, de diffus, etc.
- Collaborations internationales

Acteurs: Pierre Ineichen, Jean-Michel Gremaud, Anne-Marie Felkel ...
(plus tard: Augustin Razafindraibe, Benoît Molineaux)

Transformateurs: capteurs solaires

Etude systèmes avec capteurs haute température (tubes sous vide)
pour **chaleur industrielle** (1978-1988)

- Installations SOLARCAD - SOLARIN - SOLARIN II
- Collaboration internationale dans le cadre de l'AIE
- Mesures détaillées de systèmes
- ⇒ caractérisation des capteurs et systèmes,
modèle et programme G3

Acteurs: André Mermoud, Olivier Kaelin, Olivier Rudaz, Bernard Lachal

Systemes Photovoltaiques

- 1989: premiers systemes couplés au reseau à Genève:
 - Sous-Moulin (3kWc),
 - SIG (7.5 kWc),
 - TPG (2.4 kWc) (couplé sur ligne 600V= des trams)
 - Mesures détaillées ⇒ Diplôme et thèse de Patrick Schaub (1993)
 - Divers diplômes sur caractérisation / modélisation des modules PV
- ⇒ On a les éléments essentiels pour écrire un outil général de simulation:
- Connaissance de l'irradiance
 - Modélisation de capteurs et systemes

Développement PVsyst

1992: Analyse des programmes PV existants

1993: **Version 1**: Début du développement de PVsyst
pour systèmes couplés au réseau (financement OFEN)
Développement de l'outil 3D d'ombrages

1995: **Version 2**: Systèmes autonomes
modèle de batteries, version anglaise

1997: Une étude anglaise (ETSU) reconnaît PVsyst comme
un des meilleurs programmes du marché (avec PV*Sol)

1999: **Version 3**: En collaboration avec l'EPFL: réécriture sous DELPHI,
renouvellement de l'interface-utilisateur

Evolution de PVsyst

2004: Nécessité de modéliser les capteurs en couches minces

⇒ Projet de recherche (financement SIG-NER)

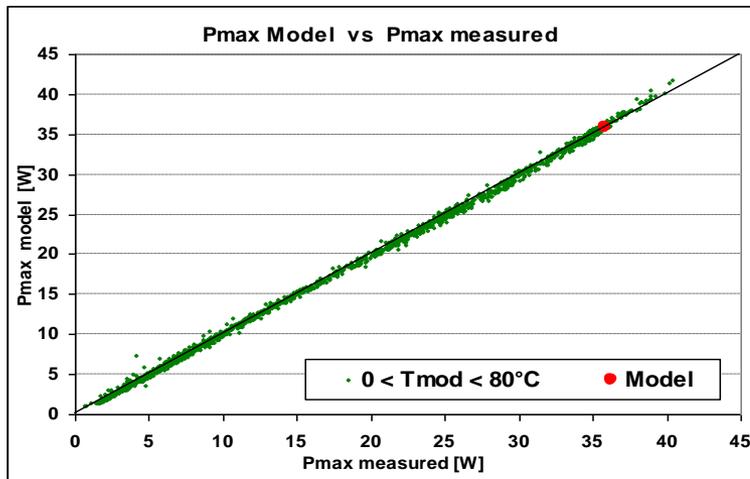
2006: **Version 4** - Etude du pompage solaire

⇒ Projet de recherche, modélisation des pompes (fin. REPIC)

2009: **Version 5** - Multilangue, multi-champs,

adaptation à la technologie des grandes centrales

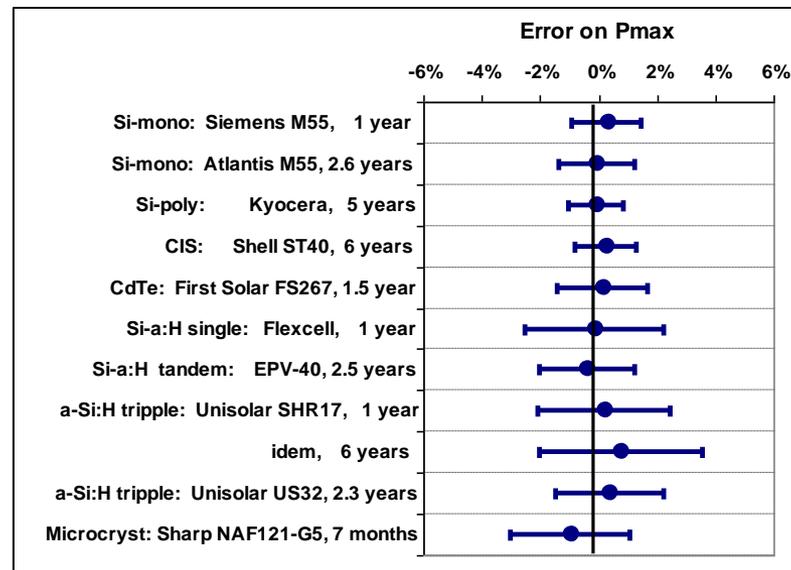
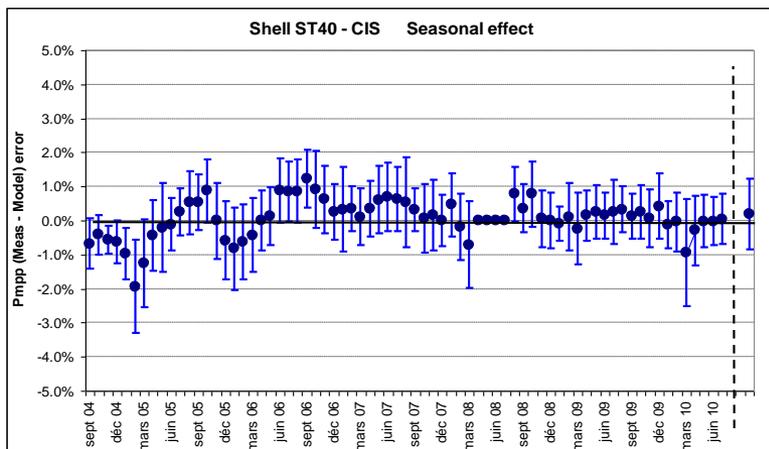
Modélisation de Capteurs PV



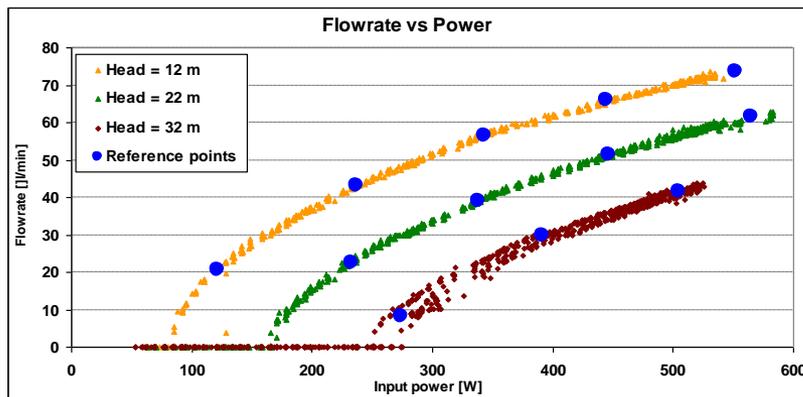
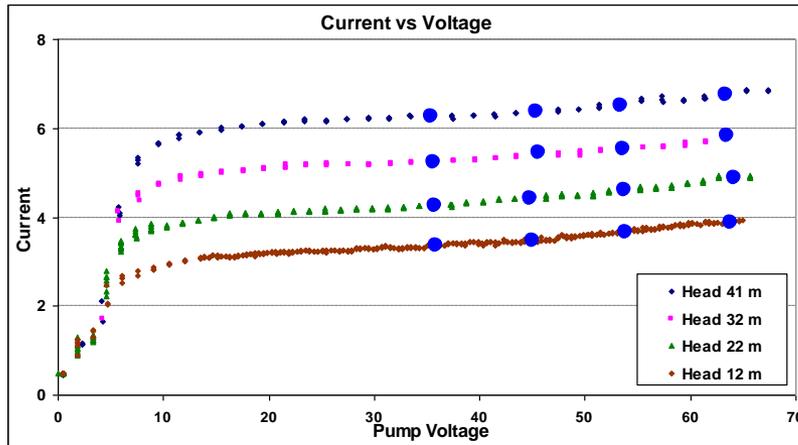
Principe du projet :

- Mesure de courbes I/V au soleil (toutes les 10 min)
- Etablissement du modèle (sur une seule courbe I/V)
- Comparaison Modèle-Mesure pour chaque mesure

Etudes pour toutes les technologies

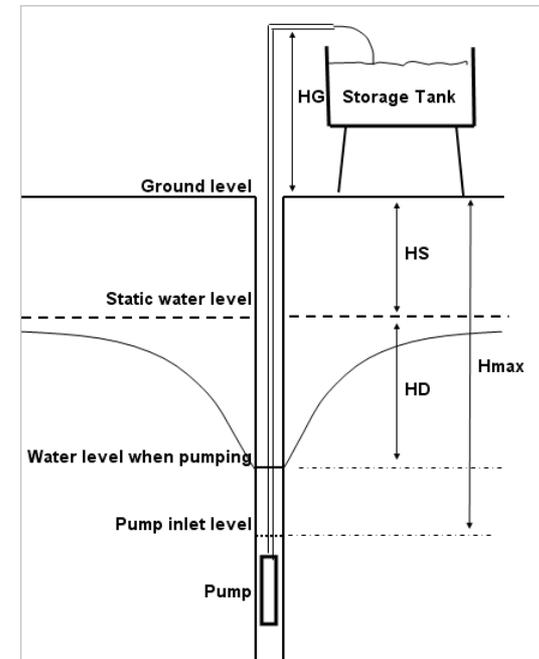


Etude de systèmes de pompage



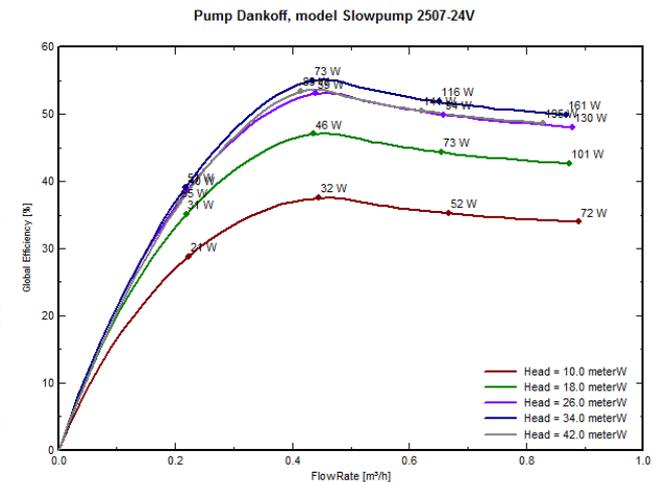
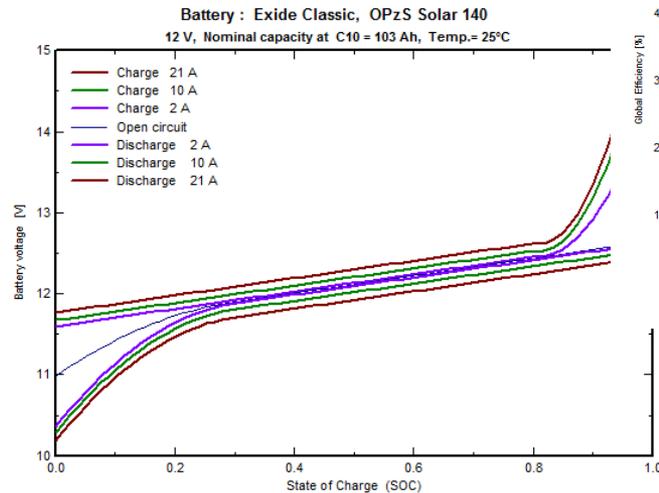
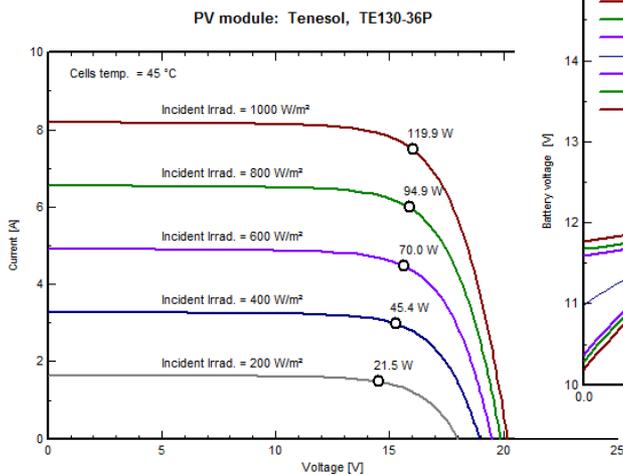
Etablir un **modèle de pompe** solaire
(tous types de pompes, tous fabricants)

Simulation du **système** complet
(régulation, caract. hydrauliques, soleil, etc)



Description du logiciel - Bases de données

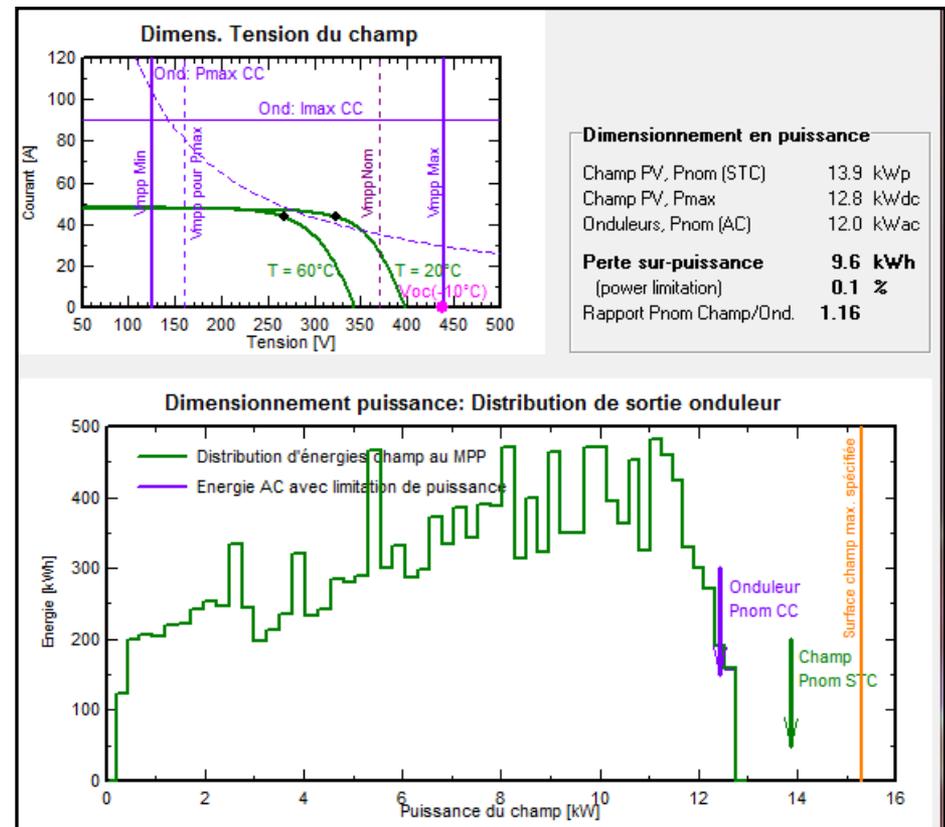
- Base de données climatiques (natif: Météonorm et NASA)
Importation de nombreuses bases de données publiques (et payantes)
- Base de données de composants PV
9'000 modules PV
2'400 onduleurs
Batteries, régulateurs, pompes, etc



Dimensionnement du système

Outil visuel donnant toutes les conditions de dimensionnement

- Selon puissance désirée ou pour surface disponible
- Nombre de modules en série, selon caractéristiques de l'onduleur
- Dimensionnement optimal de l'onduleur selon le système



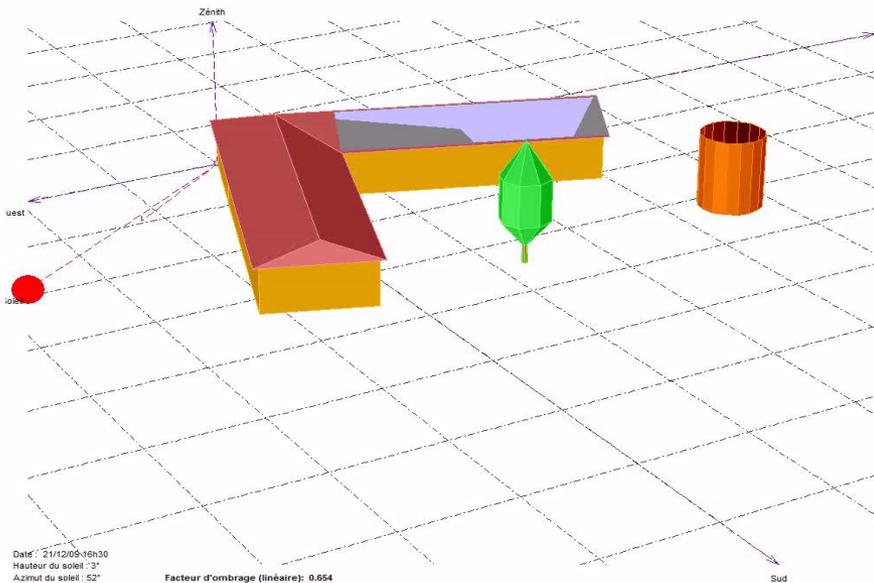


Ombrages

Calcul détaillé des ombrages:

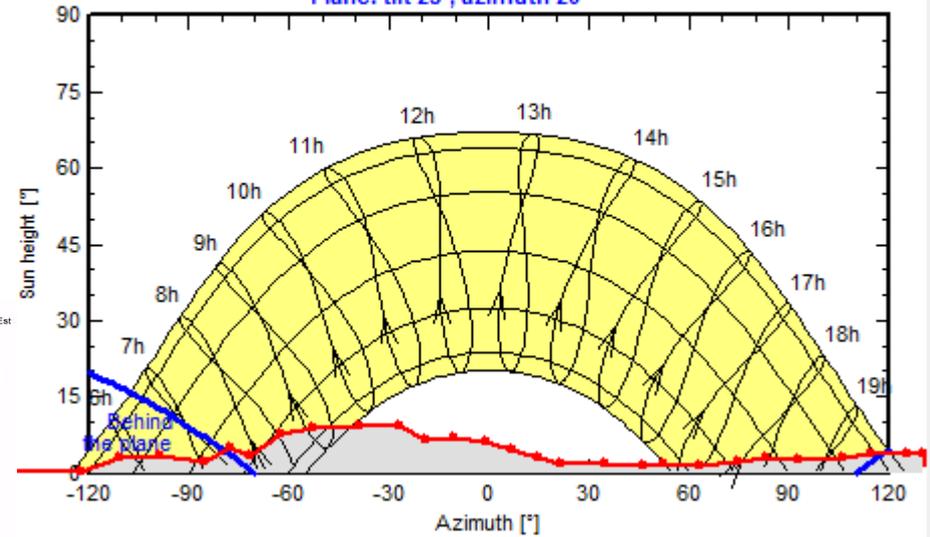
Ombrages lointains:

Ligne d'horizon, course du soleil



Horizon line drawing

Plane: tilt 25°, azimuth 20°



Ombrages proches:

Outil CAO de construction 3D

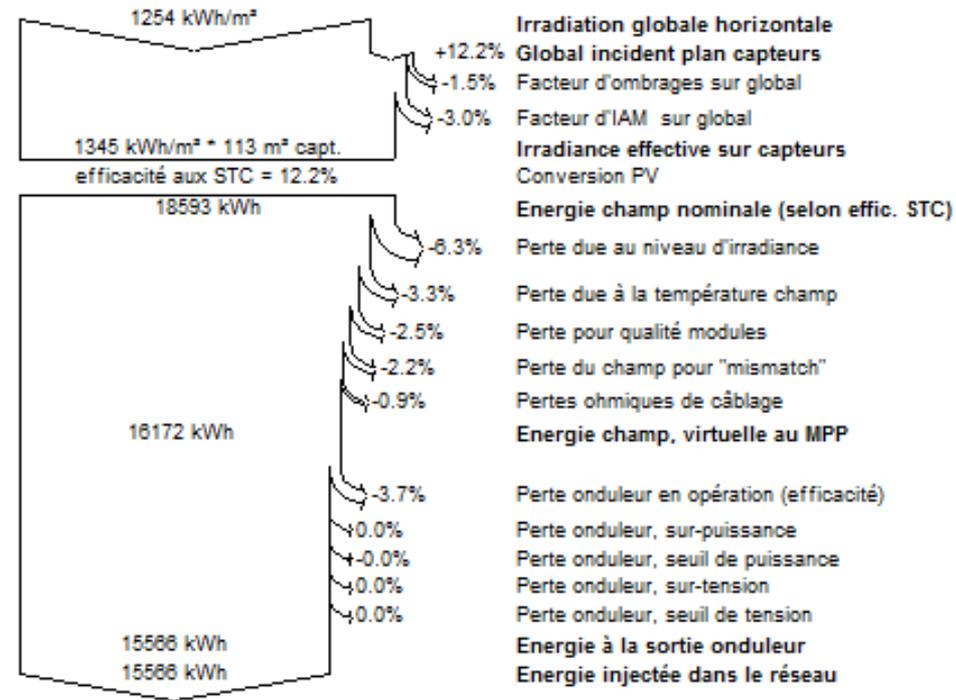
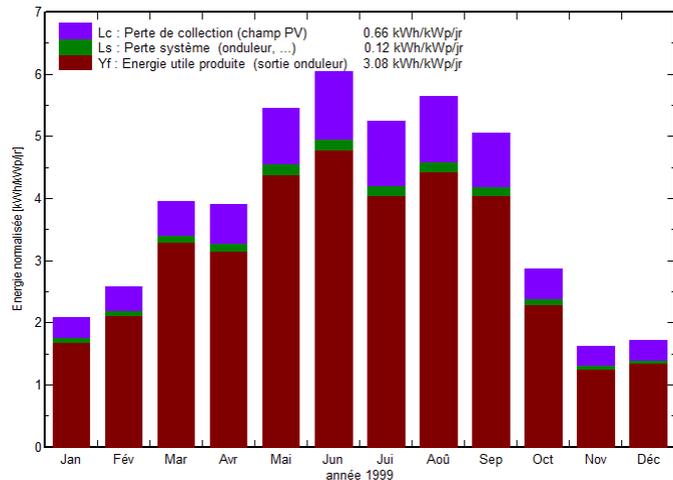


Résultats

Rapport complet comprenant:

- Paramètres de la simulation (y.c. horizon et scènes d'ombrages 3D si définis)
- Résultats principaux (productible, PR, tableau mensuel, pertes détaillées)
- Evaluation économique

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 14 kWc



Rayonnement du logiciel

Utilisé par:

bureaux d'ingénieurs, financeurs, nombreuses universités, ...

Contact avec les utilisateurs:

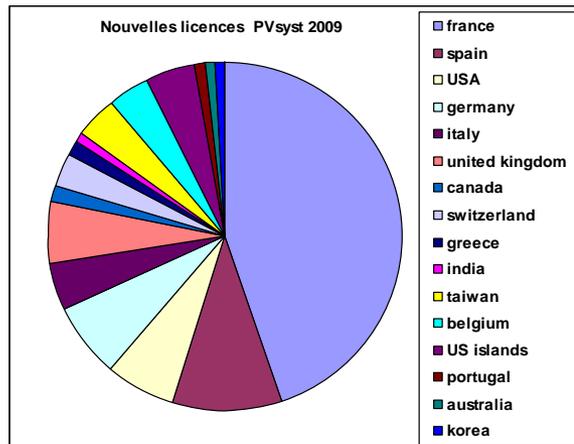
- "hot line": nombreux échanges sur méthodes et modélisation,
- Formations: permet d'identifier besoins et faiblesses du programme
- Fabricants : modélisation des composants

Contacts avec organismes ou entreprises pour caractérisation PV

- Sandia National Laboratory
- Entreprises de certification

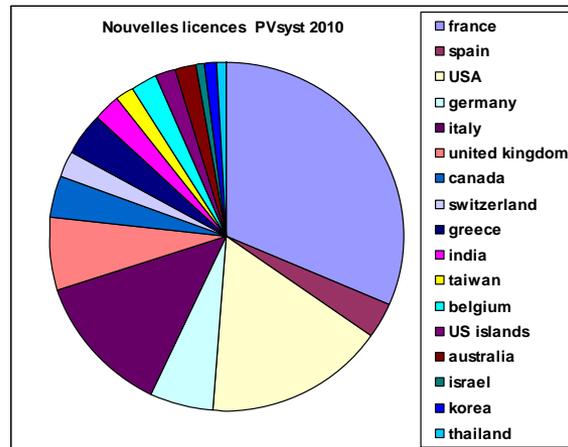
Distribution internationale

2009: Boom du PV en France et en Espagne



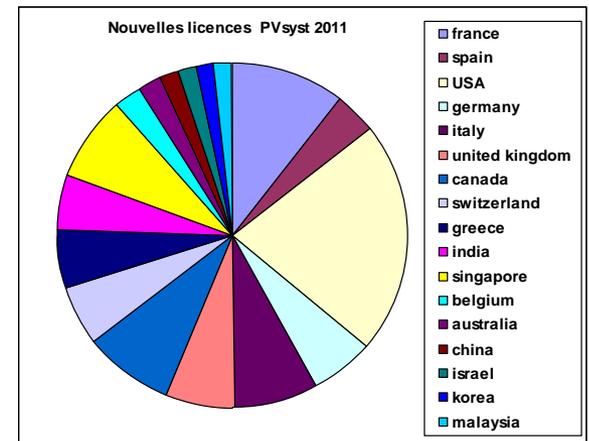
729 nouvelles entreprises,
1800 utilisateurs

2010: Montée en puissance USA et Italie



1036 nouvelles entreprises
2850 utilisateurs

2011: diversification, l'Asie s'équipe en installations PV



713 nouvelles entreprises
2300 utilisateurs

Continuation de PVsyst

- 2011: Création de la société PVsyst SA
pour continuer le développement et la distribution
- 2012: Développement d'une nouvelle **Version 6** pour cet automne
Organisation de formations (demandes internationales)

Autres études récentes sur le PV à UniGE

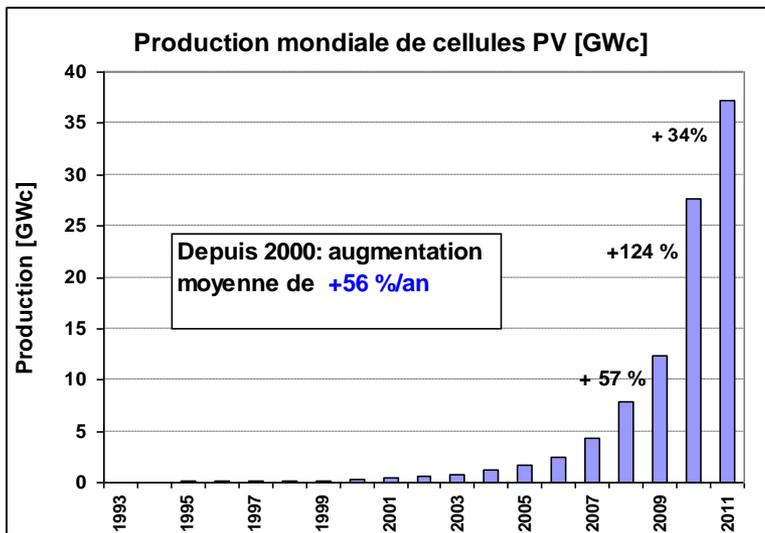
- Faisabilité d'un restaurant solaire autonome à Val Bedretto (TI)
- Potentiel PV des toitures de l'Etat de Genève (dispo 80 MW)
- Utilisation des GIS pour évaluation du potentiel PV en milieu urbain
- Potentiel sur la région Franco-Valdo-Genevoise
(Thèse de Jérôme Faessler 2012)
- Plusieurs travaux de Master dans le cadre de l'ISE



2ème partie

Que peut-on attendre du Photovoltaïque
pour notre avenir énergétique ?

Le PV: une industrie en expansion rapide



Production 2011: 37.2 GWc

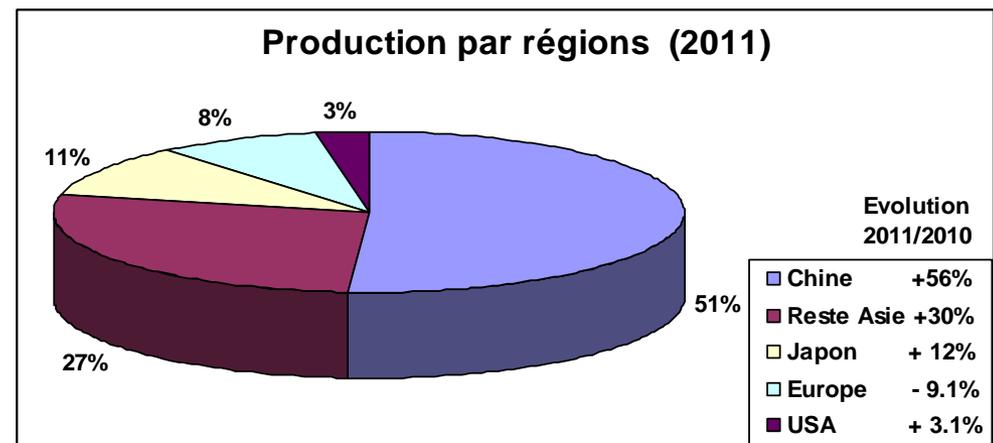
Production cumulée: 98 GWc

Installations dans le monde:

Connectés en 2011: 29 GWc (74% Europe)

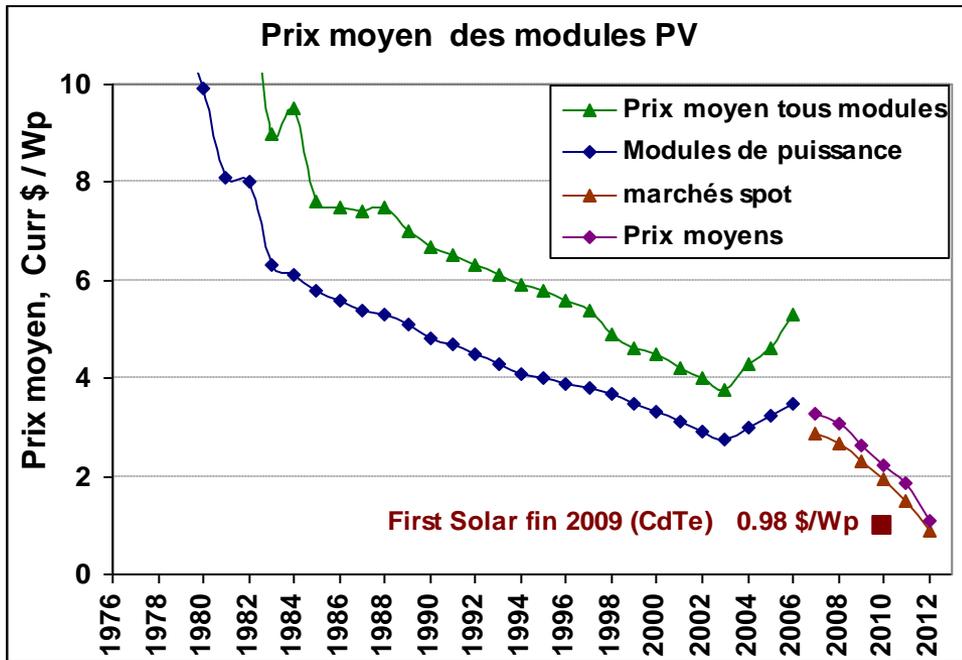
Installés fin 2011: 69 GWc

2012: plus de 20 GW de modules sur le marché
 ⇒ les prix ont chuté de 30 à 40%





Prix



Dumping des fabricants chinois:
 Prix moyen des modules cristallins:
 Jan 2011 1.44 €/Wc
 Jan 2012 0.82 €/Wc (-43%)
 => Nombreux fabricants en difficultés en Europe

Prix de systèmes (> 100 kWc)
 Jan 2009 4.2 €/Wc
 Jan 2011 2.7 €/Wc
 Jan 2012 2.1 €/Wc (-23%)

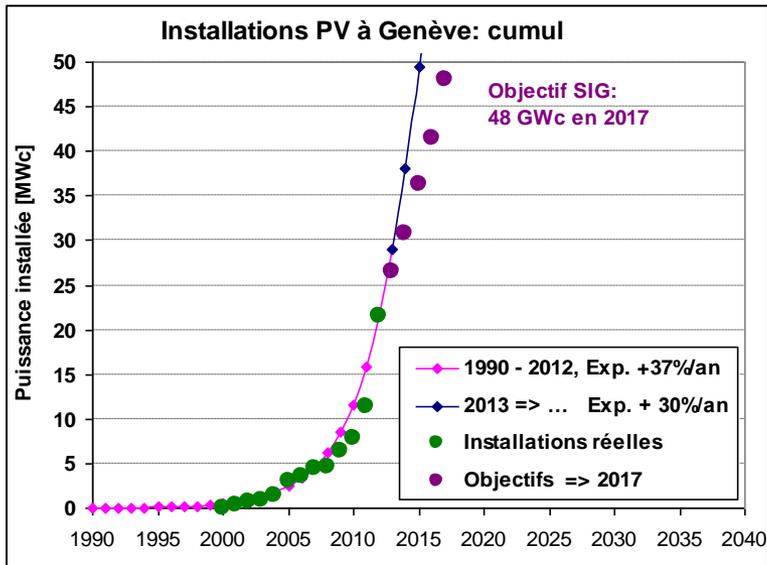
L'apport du PV à Genève

Consommation électrique du canton:	3.000 GWh	750 W/hab	} 0.3 %
dont usages domestiques:	31 %	232 W/hab	
Production Photovoltaïque 2011:	8.6 GWh	2.2 W/hab	
Installations PV actuelles (2011)	11.4 MWc	25 Wc/hab	
		0.2 m ² /hab	

Si on veut passer à **20% de la consommation** électrique globale:

Production Photovoltaïque :	600 GWh	150 W/hab
→ il faut installer	620 MWc	1400 Wc/hab
(5 Millions m ² capteurs, 1.8% surface du canton)		11 m² /hab
(Suisse: 52 m ² de bâtiments/hab)		

Progression du PV à Genève



Si on continue à +30%/an:

620'000 kWc installés en 2027

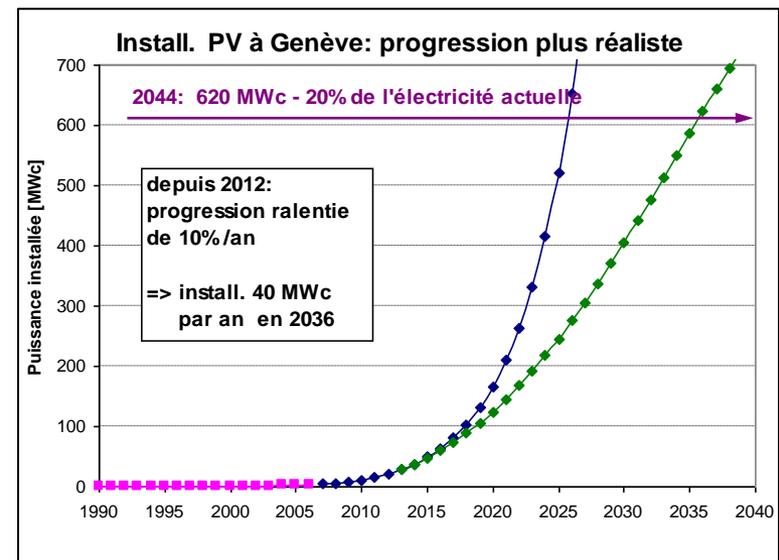
1990: première centrale 3 kWc

2012: 21'500 kWc installés

représente une augmentation de 37 %/an

Politique volontariste :

Subventions + Tarif de rachat (Bourse Solaire)



Instruments d'incitation

L'installation solaire est à fort contenu en capital:
on achète d'un coup 30 ans d'énergie !

Historiquement: Subventions à l'installation

Actuel: Tarifs de rachat (FIT)

- Nécessité d'une stabilité long terme ⇒ contrats de 20 ans
- Doit correspondre à un **amortissement raisonnable** ⇒ révisions permanentes
- Facilitation de prêts (les banques sont frileuses)
- **Qui paie ?**

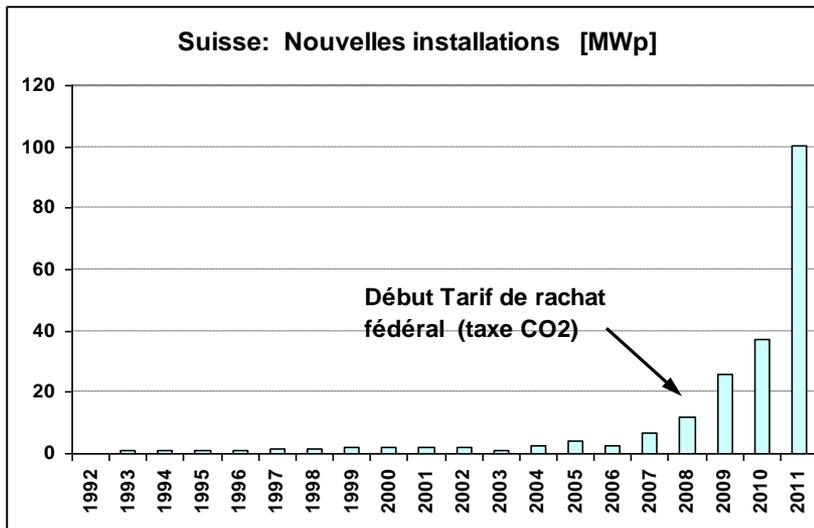
Autres: Certificats verts (Belgique)

- Tarif minimal garanti par l'état

A terme: Parité réseau (Net-metering)

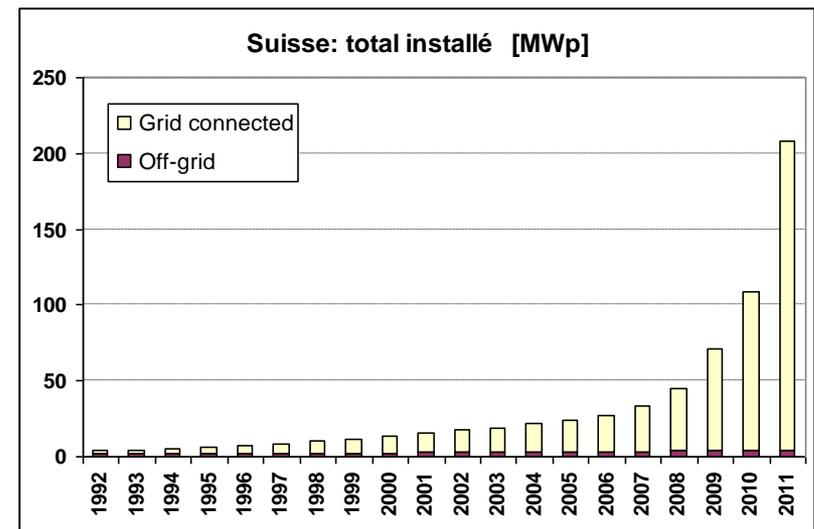
- On ne paie pas l'électricité non consommée (=> prix de consommation garanti)
- On est rétribué sur l'énergie en surplus au prix du réseau (ou moins?)

L'apport du PV en Suisse



Installés fin 2011: 211 MWc
 28 Wc/hab

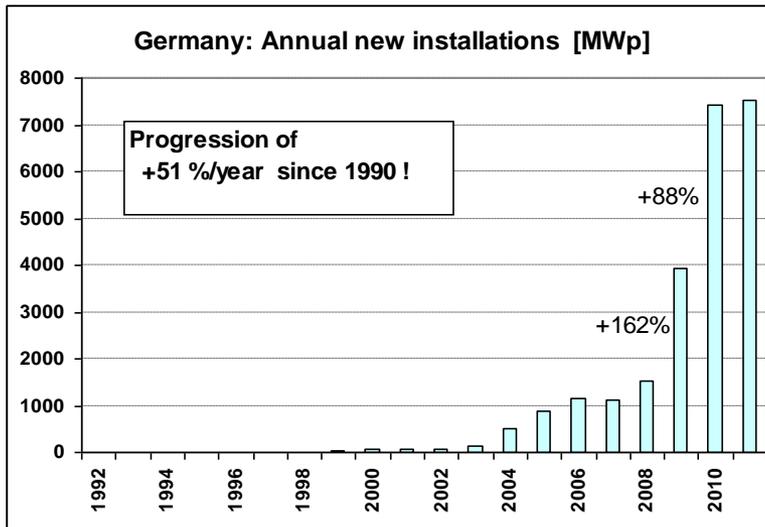
Production PV 186 GWh
 /consomm. élec. 0.3 %



Objectif 20% de la consommation:
 ⇒ installation de 14'000 MWc
 (0.28% de la surface Suisse)

avec +30%/an: atteint en 2033
 +20%/an: 2044
 +10%/an: 2076

L'apport du PV en Allemagne



Installés fin 2011:

25 GWc

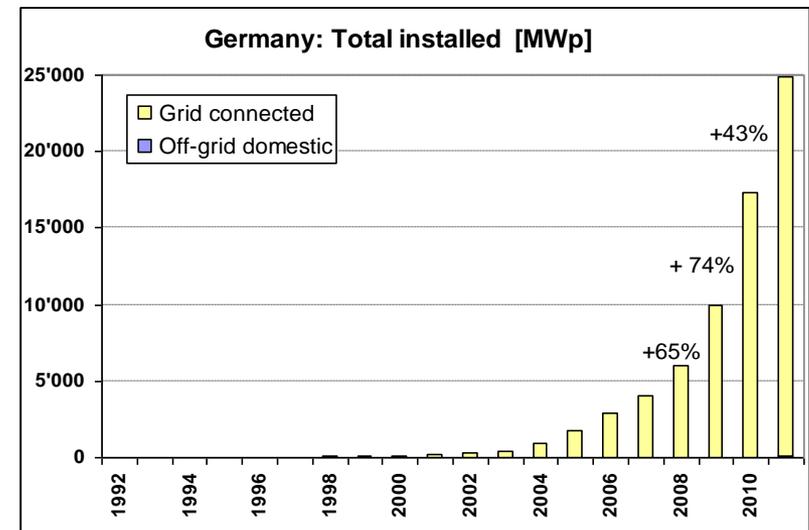
302 Wc/hab

Production PV

222 kWh/hab

/consomm. élec.

4 %

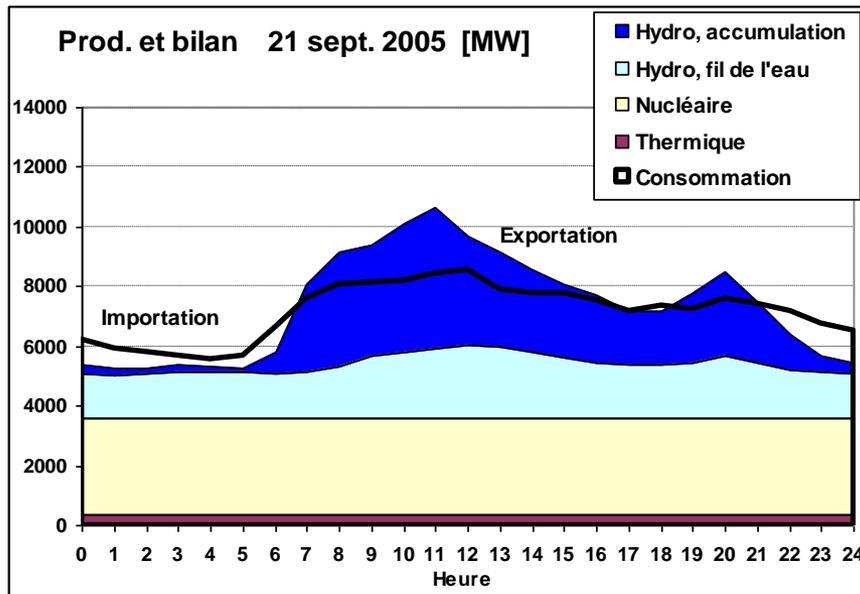


Si l'Allemagne continue avec +30%/an :

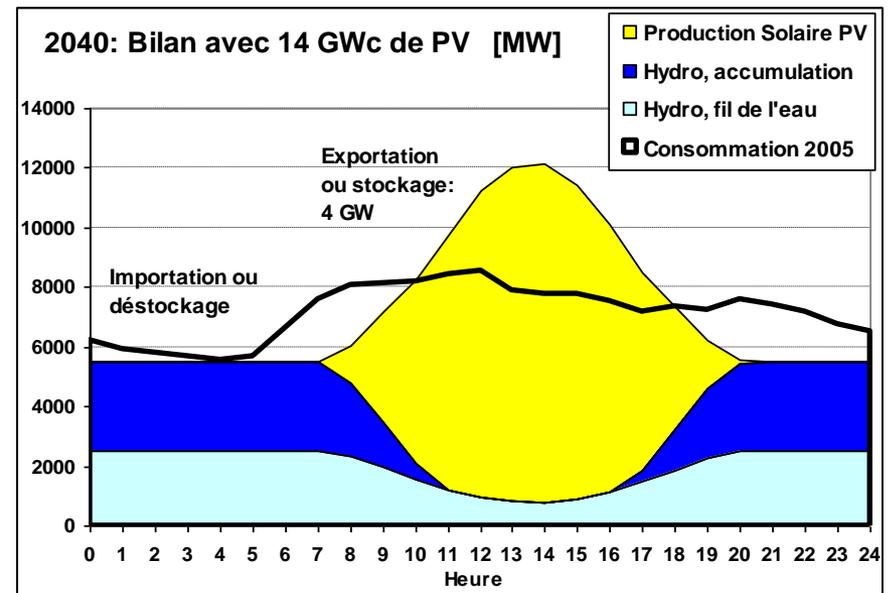
Objectif 20% d'électricité PV

⇒ 168 GW installés, atteint en 2018

Limitations réseau: 20% de PV



Réseau Suisse:
Profil de productions et
consommations 2005



Profil possible avec production PV
pour un parc de 14 GWc
et beau jour sur tout le pays:
4 GW de surproduction à
stocker ou **exporter** (ou **réguler**) !

Adaptation Production - Consomm. des ENR

Instruments possibles:

Transport:

- Grande pénétration du réseau ⇔ grandes distances

Ex. actuel: Echanges d'énergie éolienne nord de l'Europe ⇔ énergie PV au sud

Futur: Réseau Desertec entre l'Europe et l'Afrique, lignes THT 1 MV continu

Stockage:

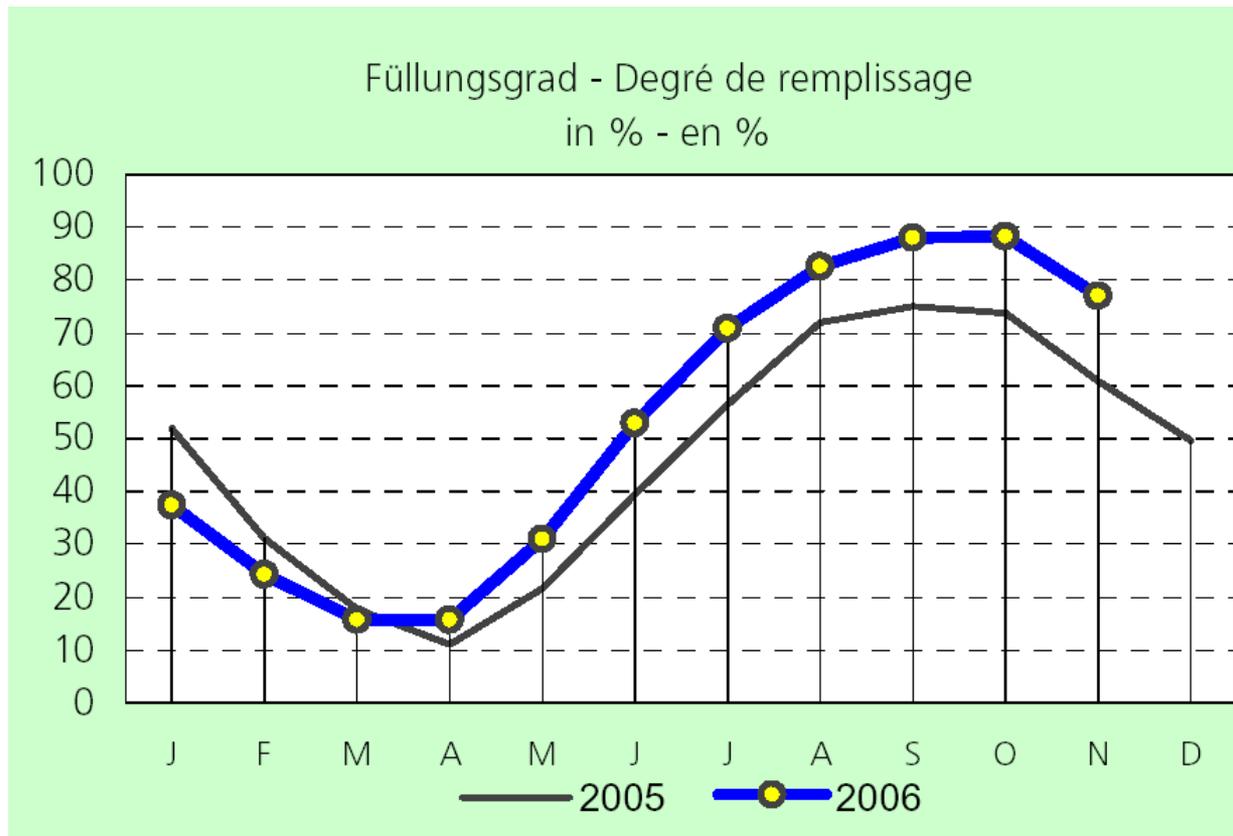
- Pompage/turbinage: $\eta \approx 80\%$
En Suisse, 3 projets: Hongrin 250 MW, Emosson 900MW et Linthal 1 GW (2017)
- Chimique: Batteries, Ex: Pb-acide: stockage 1 MWh \approx 35 tonnes !
- Chimique distribué: Voitures électriques
- Air comprimé Mines de sel
- Volants d'inertie

Gestion de la demande:

- Smart grid, recherches très actives



Stockage saisonnier

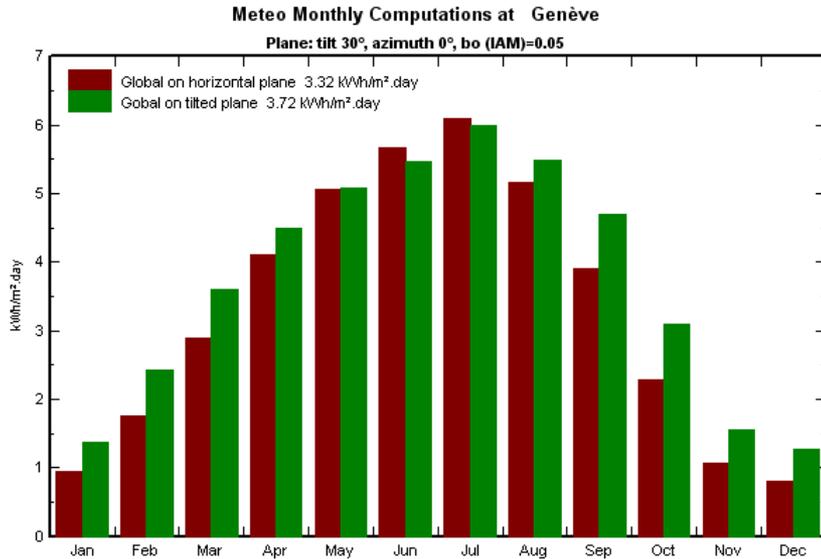


gesamte_erzeugung_verbrauch_06.pdf

A la fin de l'été, les bassins d'accumulation sont pleins ...



Distribution annuelle



Ensoleillement à Genève:

Energie 1250 kWh/an (1400 W/m² plan 30°S)

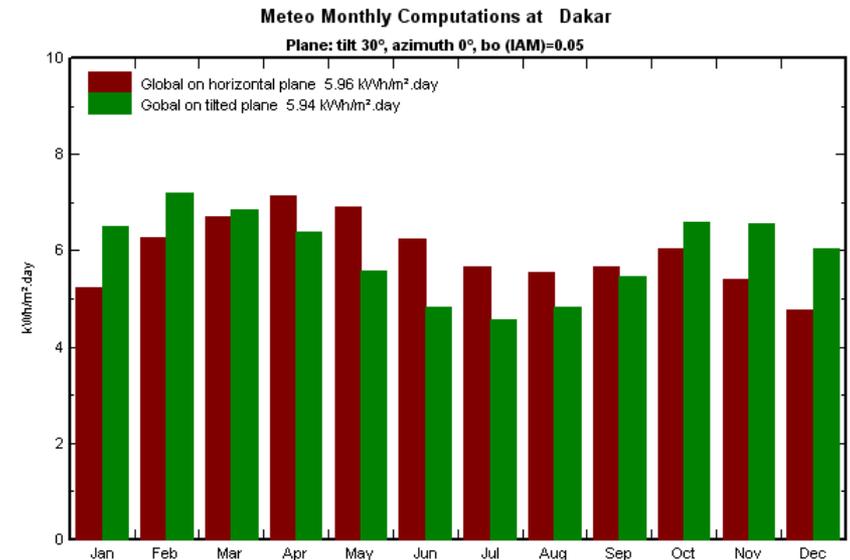
Dynamique été:hiver 4:1 (sur plan incliné)

Ensoleillement à Dakar:

Energie 2200 kWh/an

Très constant au cours de l'année

⇒ favorable aux utilisations isolées



PV dans les PVD: un service

Plus de 2 milliards d'hommes et de femmes vivent sans électricité

Services qui peuvent être couverts par la "petite" électricité:

Niveau familial

- SHS (Solar Home System), Typ. 50Wc + batterie 100Ah
- Eclairage, information (radio / téléphone / télévision / ordinateurs)
- Réfrigération: frigo (plus cher, au moins 200 Wc)

Collectivités locales (écoles, dispensaires, administrations, culte)

- Eclairage, réfrigération (médicaments), sonorisation,
- Informatique, éclairage public,
- Centre de recharge de batteries

Collectifs de production agricole:

- Pompage de l'eau,
- Moulins à grains, réfrigération (lait), petite mécanique, etc.

Installations en général organisées autour d'un parc de batteries au plomb .

⇒ très gros problèmes de pollution (recyclage)

Qualité et efficacité

L'éclairage PV efficient est **compétitif** avec les autres modes d'éclairages

Usage	Puissance	Durée		Coût	Coût de
	lumineuse	d'éclairage		horaire	l'énergie
	<i>lumen</i>	<i>heures</i>		<i>CHF/heure</i>	<i>CHF/kWh</i>
PV + Batterie 75Ah + lampe fluo	400	112	h/recharge	0.050	6.3
Lampe BUTAGAZ	300	42	h/bouteille	0.065	11
Lampe à pétrole	45	33	h/litre	0.027	30
Lampe torche (2*R20)	7	18	h/ 2 piles	0.053	375
Grande bougie	1	8	h	0.017	825
Petite bougie	1	2.7	h	0.017	825

L'énergie PV décentralisée est chère

- ⇒ utiliser des équipements **extrêmement performants**
 Le surcoût de la qualité est rapidement rentabilisé
 (lampes fluo, réfrigérateurs super-isolés : 0.3 kWh/jour contre 1.2)

Conditions de succès d'une projet PV rural

Installation PV **intensive en capital** (à l'opposé du mode de vie rural)

⇒ nécessité de financements extérieurs, surtout initial

- Gouvernements, Collectivités, ONG, banque mondiale, ...
- Entreprises d'électricité peuvent être propriétaires et assurer l'entretien

Cadre juridique capable d'assurer la pérennité des institutions

Les populations **doivent être impliquées** dans le projet

- Motivation par participation financière (même modeste)
- **Information** des usagers
- Participation à la gestion du projet (commune)

Systèmes commerciaux et/ou administratifs efficaces

- Formation, et suivi d'un **service technique** sur le terrain
- Fabrication /réparation indigène de composants (lampes, batteries)
- Environnement (**recyclage** notamment des batteries)



Du bon usage du PV ...



Batterie hors d'usage après 1-2 ans
sans suivi technique ou financier...





Conclusions

- Le PV peut contribuer pour 20% à notre mix électrique
(plus pour les pays du sud - synchronisation avec climatisation)
- Le développement de l'industrie du PV est actuellement instable, mais inéluctable
- La production photovoltaïque est sur le point de devenir compétitive avec les autres énergies
- Elle nécessite une transformation profonde de nos réseaux et de notre manière de consommer
- Le PV rural est un formidable enjeu pour le développement