

*Les rencontres du PREBAT
20-22 mars 2007, Aix-les-Bains*

**Synthèse du projet GEOSOL:
Intégration énergétique dans les bâtiments par
l'utilisation combinée de l'énergie solaire et
de la géothermie basse température**

Valentin TRILLAT-BERDAL, Bernard SOUYRI, Gilbert ACHARD

LOCIE, Université de Savoie, Le BOURGET du LAC, FRANCE

Partenaires de l'étude

1 laboratoire

- Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement (LOCIE) :
Valentin TRILLAT-BERDAL, Bernard SOUYRI, Gilbert ACHARD



3 partenaires industriels

- ECO'Alternative :
Pierre WATIER et Yves DUPORT



- CIAT :
Eric AUZENET



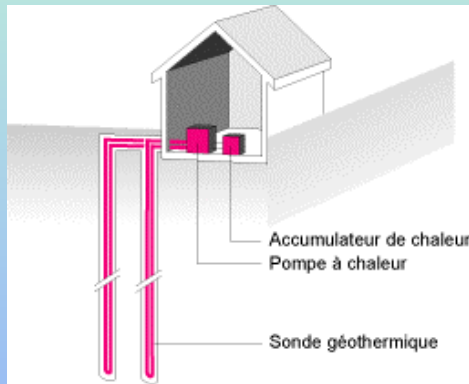
- CLIPSOL :
Philippe PAPILLON puis David CHEZE



1- Contexte de l'étude

1.1 Principe de la géothermie basse température : exploiter l'énergie basse température des couches superficielles du sol (profondeur < 100 m)

Les échangeurs enterrés verticaux



Inconvénient : coût des forages élevé

Avantages : la surface de terrain mobilisée est très faible ; ils exploitent la stabilité de la température du sol en dessous de 10 mètres de profondeur : les performances sont maintenues constantes tout au long de l'année

1- Contexte de l'étude

1.2- Déséquilibre thermique du sol

Charges thermiques échangées avec le sol par des échangeurs géothermiques



**Charges de refroidissement
>> charges de chauffage du
bâtiment**

**Augmentation de la température
moyenne du sol**



Solutions déjà existantes :
systèmes hybrides évacuant les
surplus de chaleur grâce à des tours
de refroidissement



**Charges de chauffage >>
charges de refroidissement
du bâtiment**

**Diminution de la température moyenne
du sol : décharge thermique**



Solution : réinjecter de la chaleur dans le sol
Pas de solutions largement diffusées

1- Contexte de l'étude

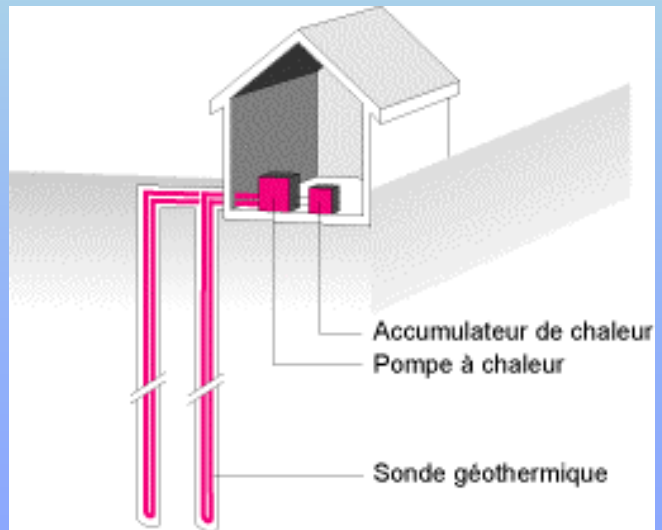
1.3- La décharge thermique du sol

Deux cas de figure

Faible concentration des échangeurs géothermiques dans le sol



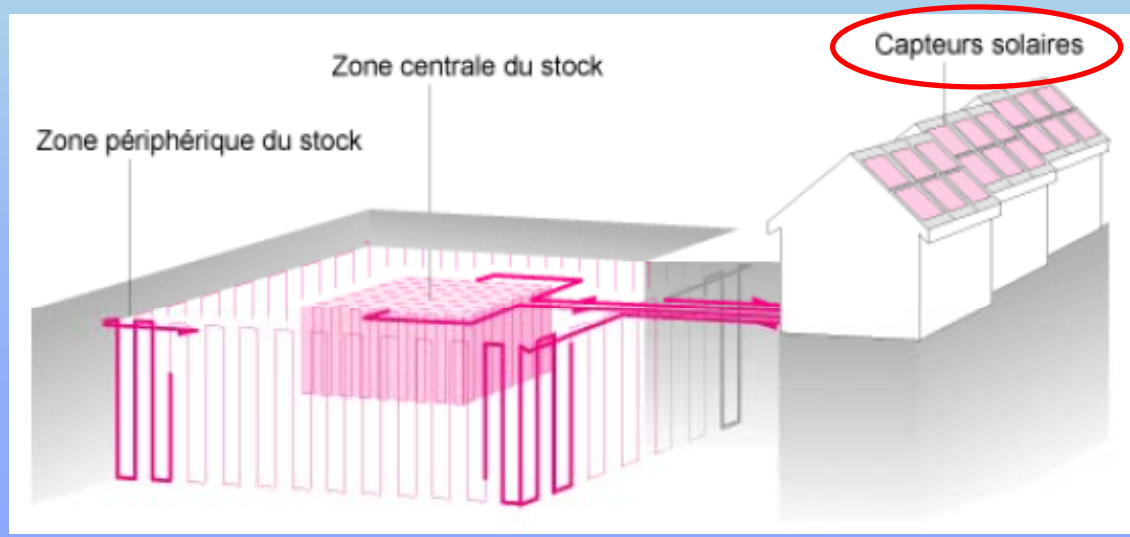
Volume de sol « infini » autour des sondes géothermiques



Concentration importante des échangeurs géothermiques dans le sol



La zone centrale est isolée des flux de chaleurs naturels du sol



1- Contexte de l'étude

1.4- Intégration du solaire thermique et de la géothermie basse température

- Géothermie : décharge thermique du sol par les échangeurs enterrés verticaux ;
- Solaire thermique : énergie solaire sous-exploitée, problème de surchauffe des capteurs solaires thermiques due aux surplus d'énergie solaire.



Intégration de la géothermie et du solaire



- Injection des surplus d'énergie solaire dans le sol : évite les surchauffes des capteurs solaires thermiques ;
- Meilleure exploitation de l'énergie solaire : utilisée pour recharger thermiquement le sol



Complémentarité de la **GEO**thermie et du **SOLA**ire thermique (**GEO-SOL**)

2- Support de l'étude expérimentale

Objectifs de l'étude expérimentale :

- Plate-forme d'essai en conditions de fonctionnement réelles ;
- Avoir des données expérimentales permettant la validation de modèles numériques ;
- Aides aux concepteurs et décideurs : donner accès aux performances réelles de systèmes couplant le solaire à la géothermie basse température.

Etude bibliographique

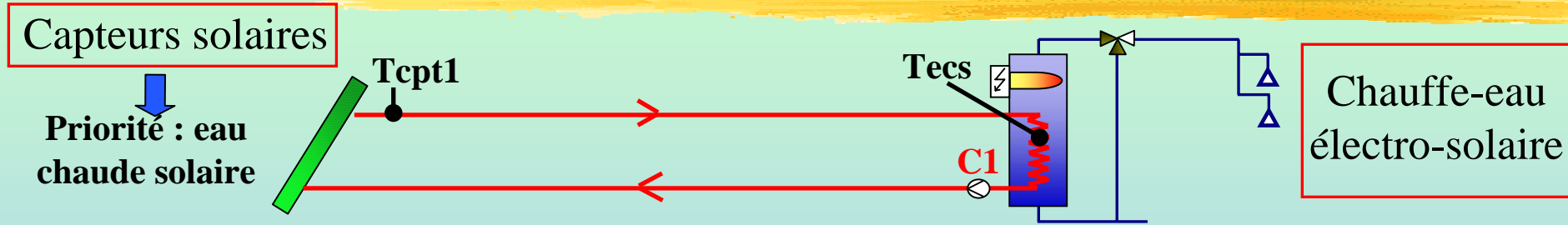
Volonté de simplicité technique
et de fonctionnement



Schéma hydraulique du
procédé

2- Support de l'étude expérimentale

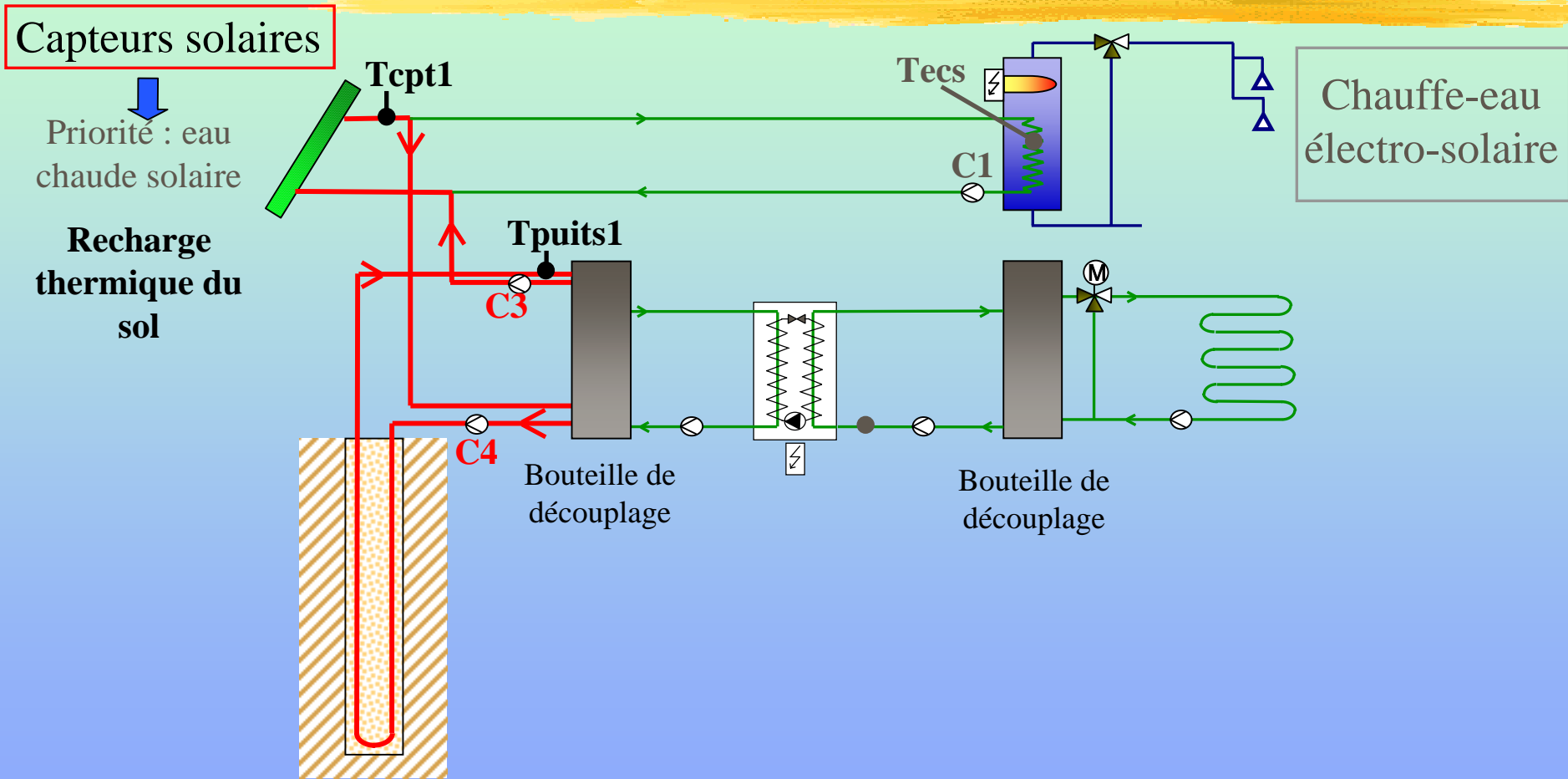
2.1- Schéma hydraulique du procédé GEOSOL



Chauffage solaire de l'eau chaude sanitaire

2- Support de l'étude expérimentale

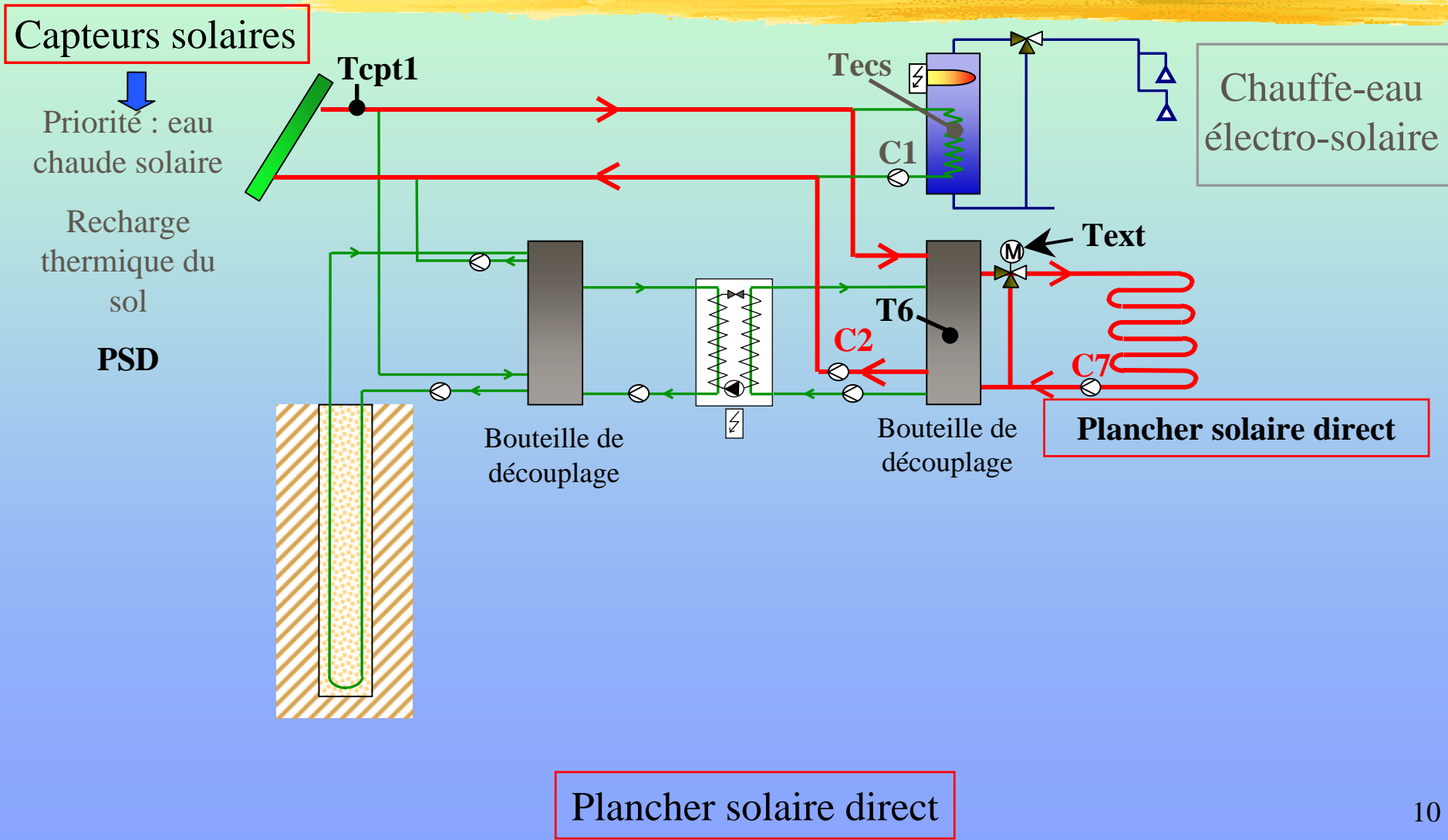
2.1- Schéma hydraulique du procédé GEOSOL



Recharge thermique du sol – boucle de décharge

2- Support de l'étude expérimentale

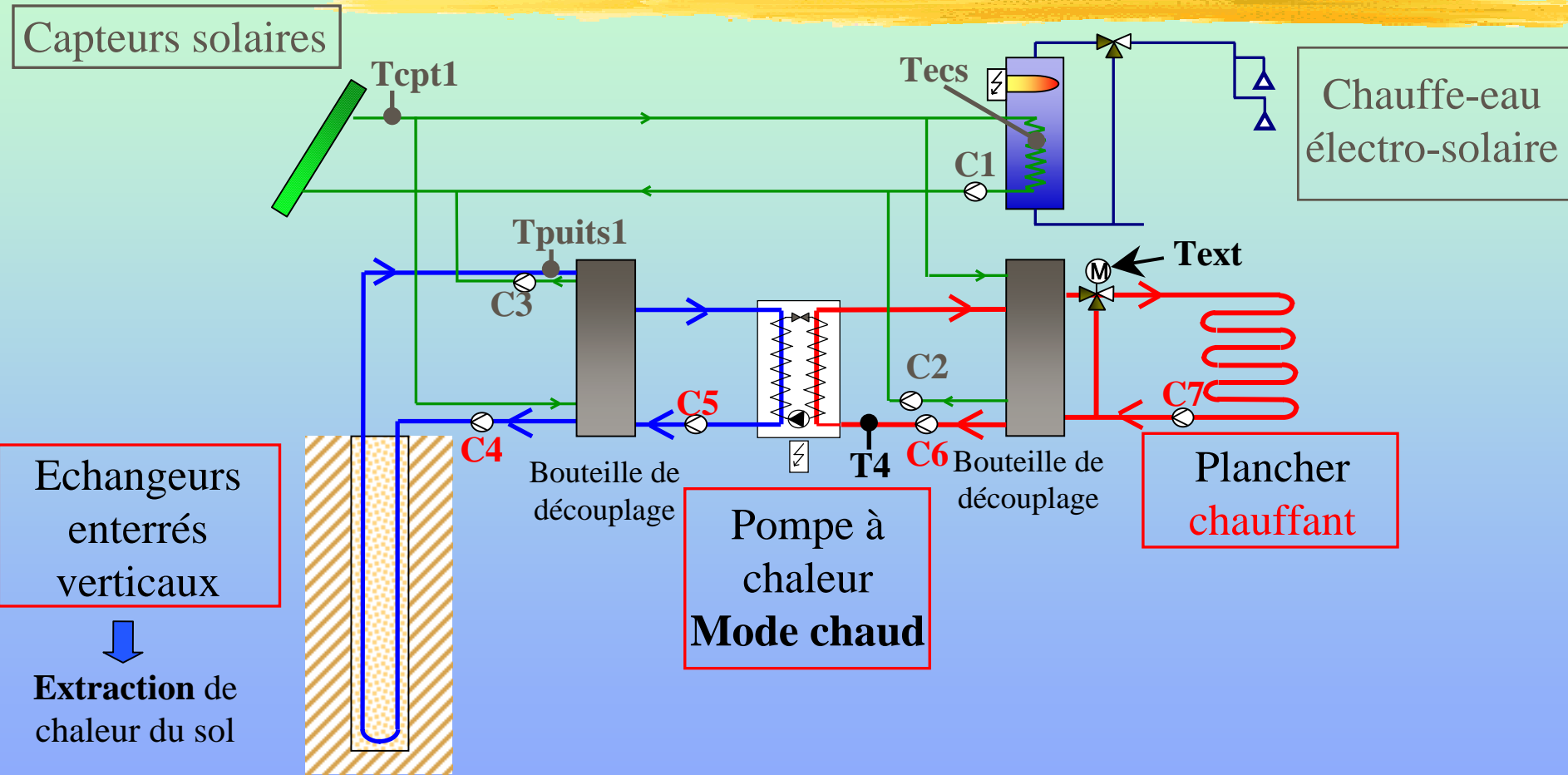
2.1- Schéma hydraulique du procédé GEOSOL



Plancher solaire direct

2- Support de l'étude expérimentale

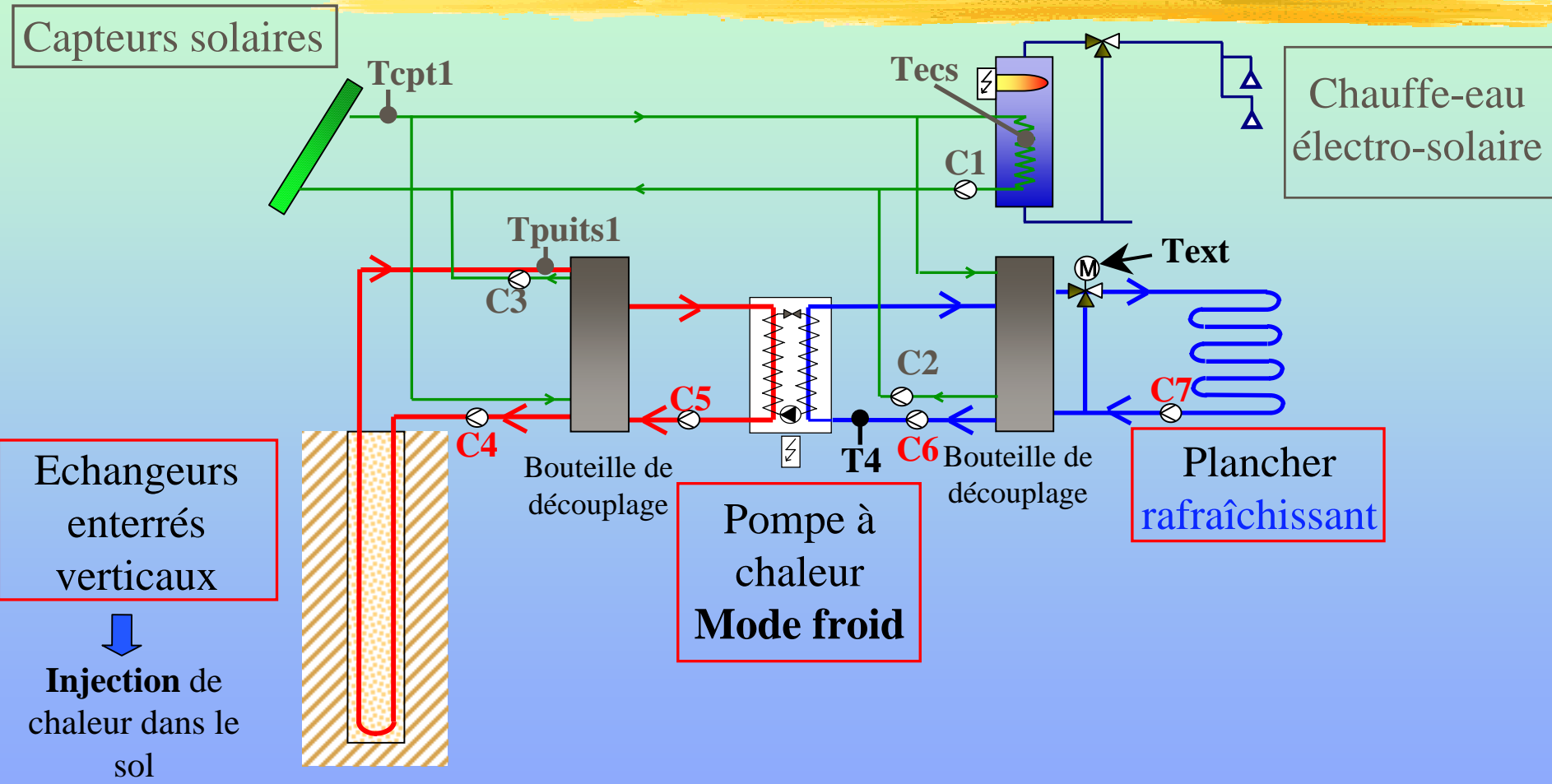
2.1- Schéma hydraulique du procédé GEOSOL



Mode **chauffage** de la pompe à chaleur

2- Support de l'étude expérimentale

2.1- Schéma hydraulique du procédé GEOSOL



Mode rafraîchissement de la pompe à chaleur

2- Support de l'étude expérimentale

2.2- Installation du procédé

Procédé testé dans une maison individuelle de 180 m² d'octobre 2004 à mars 2007



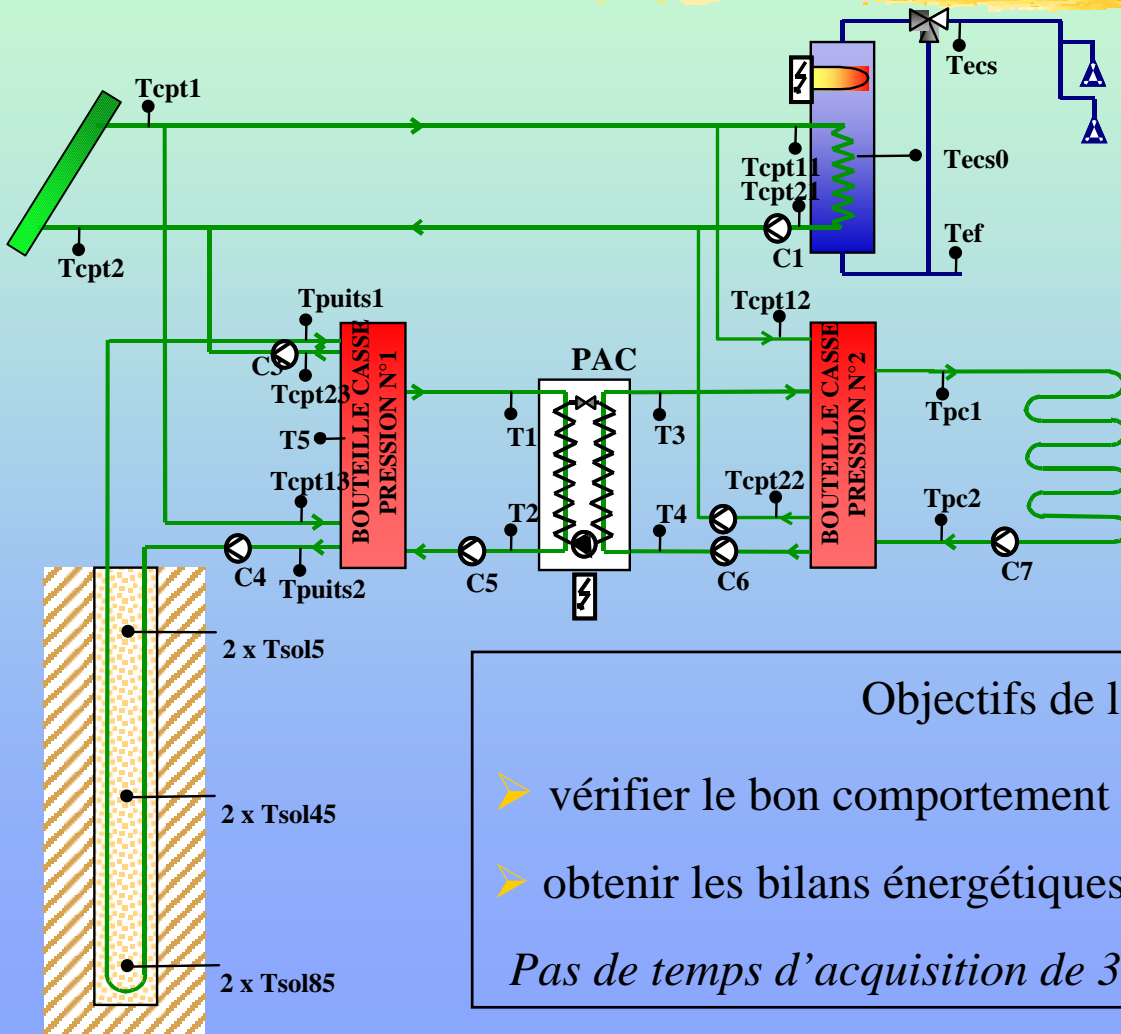
Site de construction : Savoie, à 490 m
d'altitude

Description de l'installation :

- Une pompe à chaleur (CIAT Auréa60Z) ;
- Deux échangeurs enterrés verticaux de 90 m de profondeur ;
- Émetteur basse température (157 m²) ;
- 12 m² de capteurs solaires thermiques ;
- un ballon d'eau chaude électro-solaire de 500 l ;
- deux bouteilles de découplage de 50 l.

2- Support de l'étude expérimentale

2.3- Métrologie



- 26 sondes de température (PT100 et PT1000) ;
- 8 compteurs volumétriques à impulsions ;
- 8 indicateurs de consommations électriques ;
- et une station météo.

Objectifs de la métrologie :

- vérifier le bon comportement de l'installation ;
- obtenir les bilans énergétiques, avoir accès aux performances.

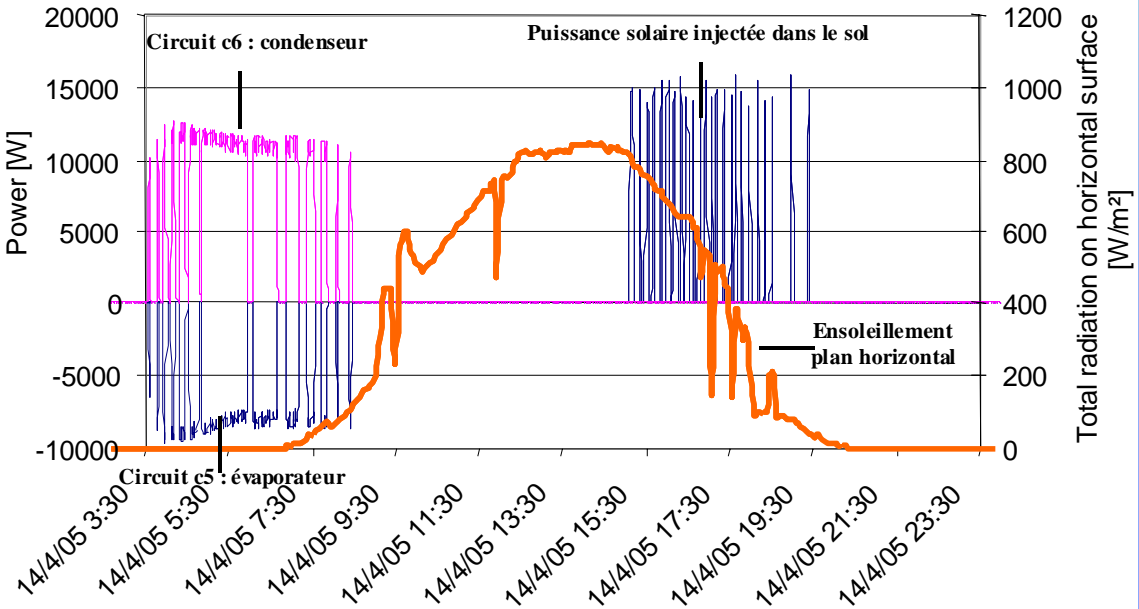
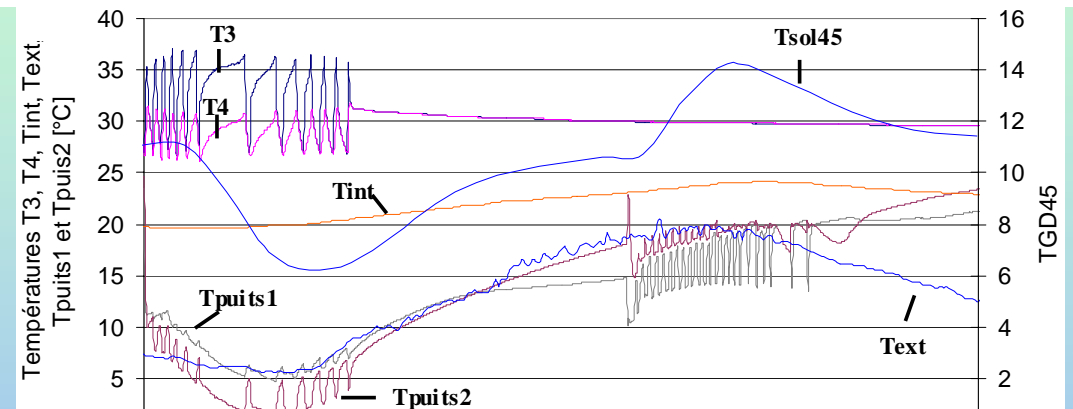
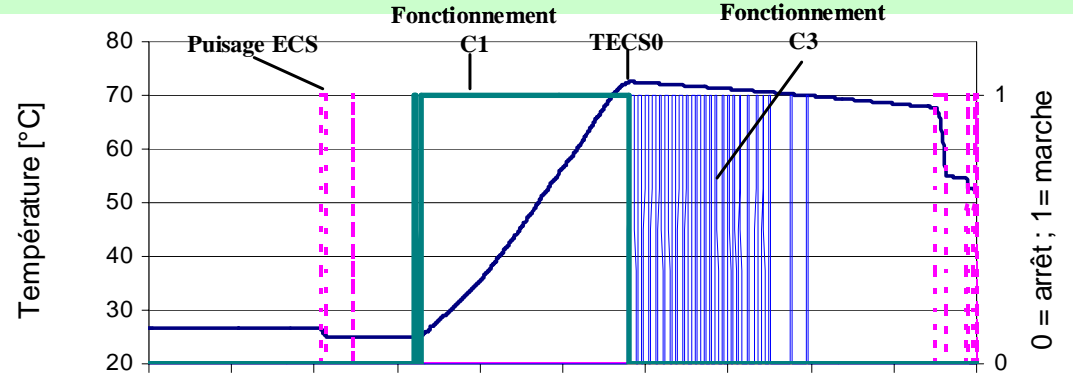
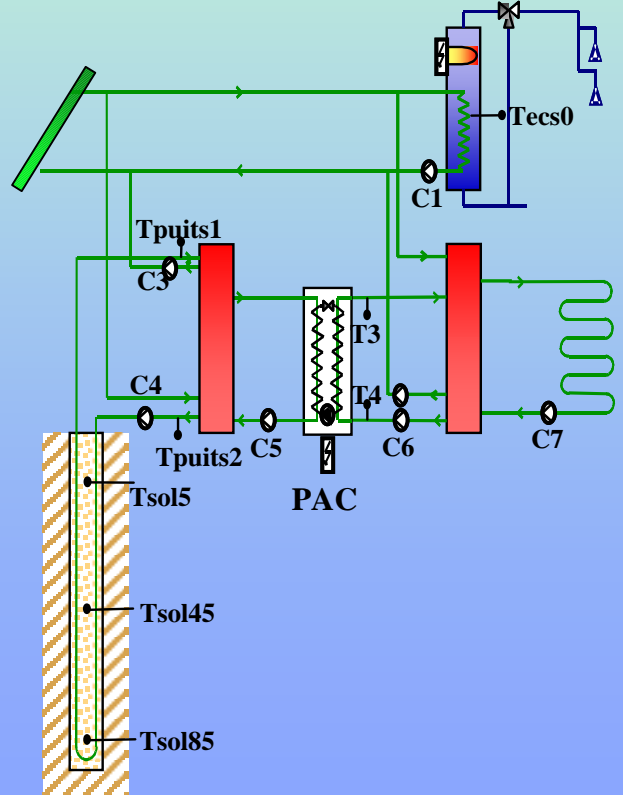
Pas de temps d'acquisition de 30 secondes (sauf météo : 5 min.)

3- Résultats expérimentaux

3.1- Comportement de l'installation



Comportement de l'installation le 14 avril 2005



3- Résultats expérimentaux

3.2- Consommation électrique totale annuelle par m² de surface habitable

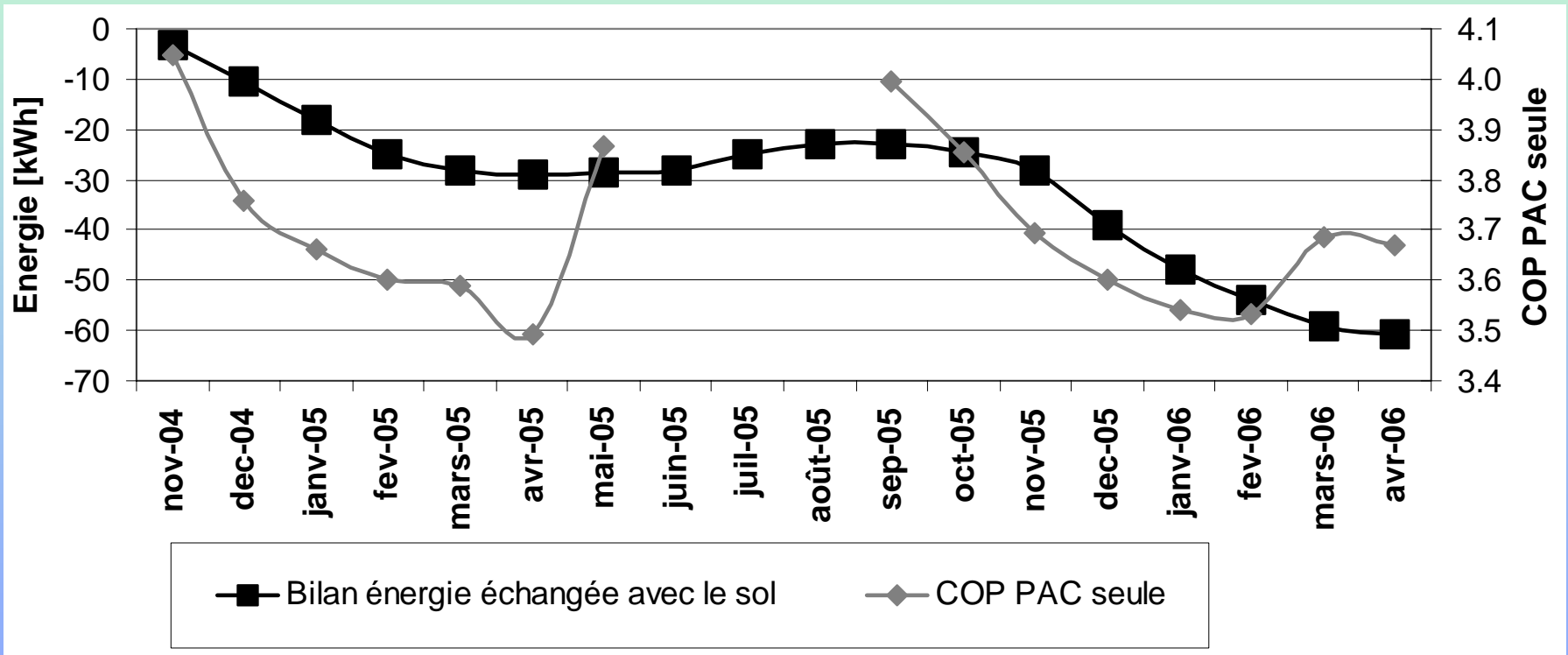
**Consommation électrique totale du procédé pour la 1ère année
(appoint électrique pour ECS, compresseur PAC et tous les circulateurs)**

Début novembre 2004 à fin avril 2005	Début mai 2005 à fin octobre 2005	Bilan première année
26 kWh/m ²	4 kWh/m ²	30 kWh/m².an

3- Résultats expérimentaux

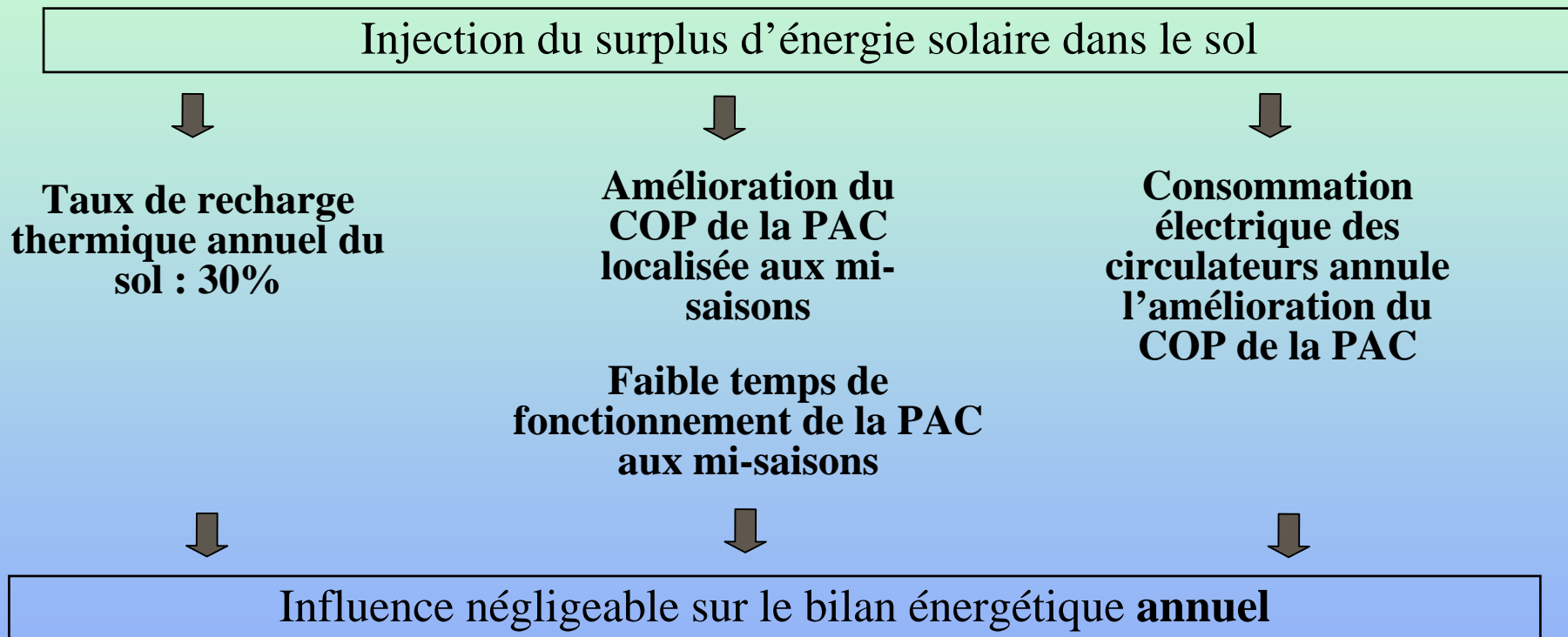
3.3- Etude de l'injection d'énergie solaire dans le sol

Effet sur l'évolution du COP de la pompe à chaleur



3- Résultats expérimentaux

3.3- Etude de l'injection d'énergie solaire dans le sol



Influences à long terme (au bout de 20 ans de fonctionnement) ?

➤ Recours à une modélisation numérique

4- Modélisation numérique du procédé

Objectifs

- étude de l'intérêt de la recharge thermique du sol à long terme (20 ans) pour l'habitat individuel et pour l'habitat collectif.
- étudier différentes variantes couplant l'énergie solaire à la géothermie basse température : trouver un bon compromis entre simplicité du procédé et COP global ;
- étude paramétrique ;

Outil utilisé : logiciel **TRNSYS**

Modélisation et simulation dynamique de procédés complexes

5- Résultats numériques

Intérêt de la recharge thermique pour l'habitat collectif

Modèle de bâtiment :

Immeuble d'habitation de 36 logements répartis en 6 niveaux (96 occupants)

Bâtiment de 2004 m² habitable, consigne de 20°C ;

$U_{bat} = 0,506 \text{ W/m}^2.\text{K}$;

chauffage par planchers chauffants ;

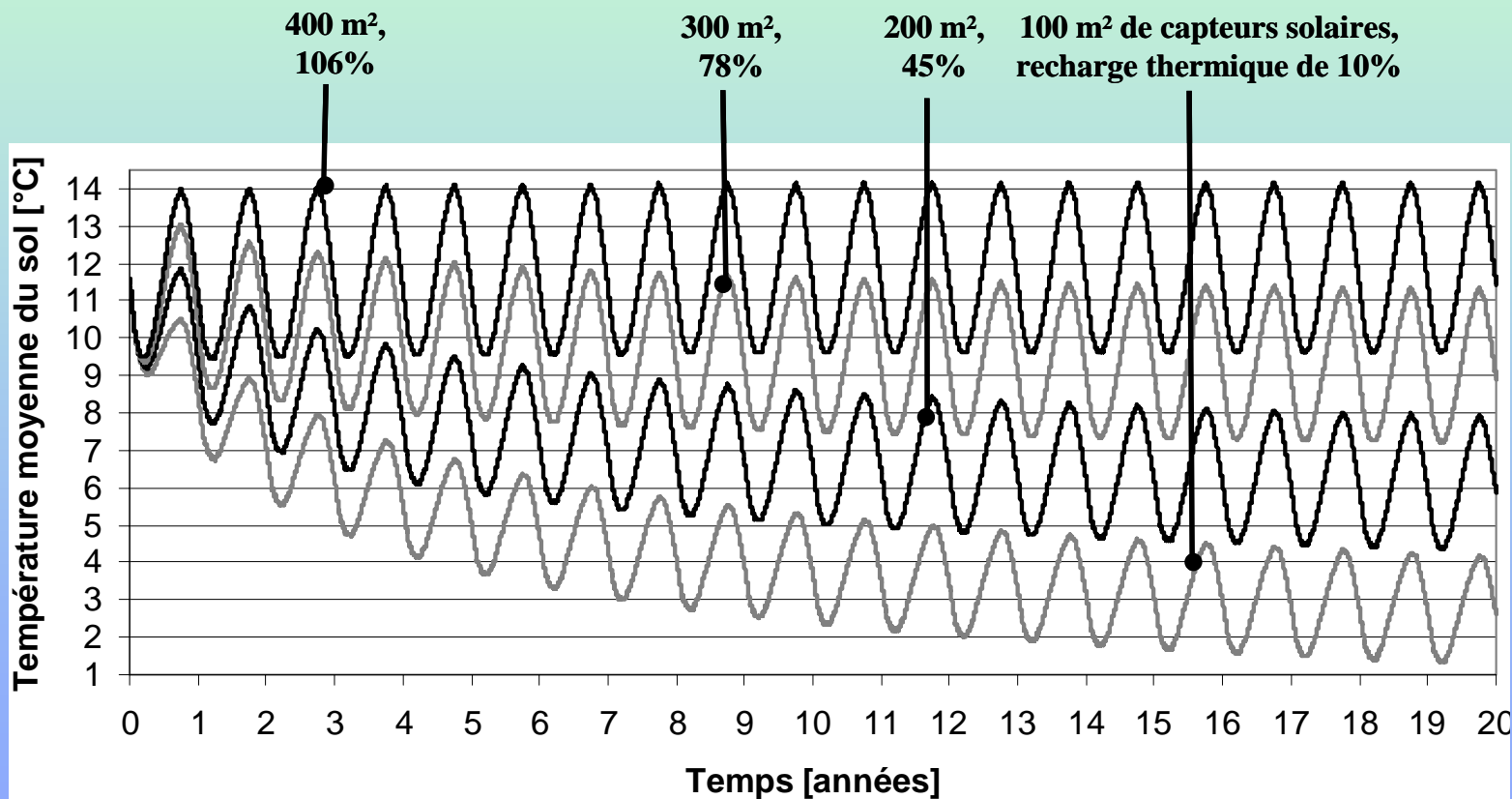
Besoin en ECS : 3360 l par jour à 60°C, ballon ECS de 6000 l ;

100 m² de capteurs solaires thermiques par rapport aux besoins d'ECS (1m²/occupant).

5- Résultats numériques

Intérêt de la recharge thermique pour l'habitat collectif

Simulation du procédé GEOSOL à long terme et pour un immeuble de 36 logements



5- Résultats numériques

Intérêt de la recharge thermique pour l'habitat collectif

Simulation du procédé GEOSOL à long terme et pour un immeuble de 36 logements

	Taux de recharge thermique [%]	105	78	45	10
	Surface de capteurs solaires [m ²]	400	300	200	100
Sol	Température initiale du sol [°C]	11,6	11,6	11,6	11,6
	Température moyenne du sol, 20 ^{ème} année	12	9,3	6,3	2,8
	ΔT_{sol} [°C]	+ 0,4	- 2,3	- 5,3	- 8,8
Fluide EGV	Température moyenne du fluide dans les puits (janvier 1ère année)	1,3	1,3	1,3	1,3
	Température moyenne du fluide dans les puits (janvier 20ème année)	1,6	-0,8	-3,5	-6,9
	$\Delta T1$ [°C]	0,3	2,1	4,8	8,2
COP PAC	COP de la PAC de janvier de la 1 ^{ère} année	4,07	4,07	4,07	4,07
	COP de la PAC de janvier de la 20 ^{ème} année	4,12	3,82	3,48	3
	ΔCOP [%]	+ 1,2	- 6,1	- 14,5	- 35,6

Gel des échangeurs géothermiques et du sol !

Diminution non acceptable du COP de la PAC

5- Résultats numériques

Intérêt de la recharge thermique pour l'habitat collectif

Simulation du procédé GEOSOL à long terme et pour un immeuble de 36 logements

	Taux de recharge thermique [%]	105	78	45	10	
	Surface de capteurs solaires [m ²]	400	300	200	100	3m ² /occupant
Sol	Température initiale du sol [°C]	11,6	11,6	11,6	11,6	
	Température moyenne du sol, 20 ^{ème} année	12	9,3	6,3	2,8	
	ΔT_{sol} [°C]	+ 0,4	- 2,3	- 5,3	- 8,8	Risque de gel limité
Fluide EGV	Température moyenne du fluide dans les puits (janvier 1ère année)	1,3	1,3	1,3	1,3	
	Température moyenne du fluide dans les puits (janvier 20ème année)	1,6	-0,8	-3,5	-6,9	
	ΔT_1 [°C]	0,3	2,1	4,8	8,2	
COP PAC	COP de la PAC de janvier de la 1 ^{ère} année	4,07	4,07	4,07	4,07	
	COP de la PAC de janvier de la 20 ^{ème} année	4,12	3,82	3,48	3	Diminution acceptable du COP de la PAC
	ΔCOP [%]	+ 1,2	- 6,1	- 14,5	- 35,6	

5- Résultats numériques

Intérêt de la recharge thermique pour l'habitat collectif

Simulation du procédé GEOSOL à long terme et pour un immeuble de 36 logements

	Taux de recharge thermique [%]	105	78	45	10
	Surface de capteurs solaires [m ²]	400	300	200	100
Sol	Température initiale du sol [°C]	11,6	11,6	11,6	11,6
	Température moyenne du sol, 20 ^{ème} année	12	9,3	6,3	2,8
	ΔT_{sol} [°C]	+ 0,4	- 2,3	- 5,3	- 8,8
Fluide EGV	Température moyenne du fluide dans les puits (janvier 1ère année)	1,3	1,3	1,3	1,3
	Température moyenne du fluide dans les puits (janvier 20ème année)	1,6	-0,8	-3,5	-6,9
	$\Delta T1$ [°C]	0,3	2,1	4,8	8,2
COP PAC	COP de la PAC de janvier de la 1 ^{ère} année	4,07	4,07	4,07	4,07
	COP de la PAC de janvier de la 20 ^{ème} année	4,12	3,82	3,48	3
	ΔCOP [%]	+ 1,2	- 6,1	- 14,5	- 35,6

**Couplage
solaire – géothermie
totalement justifié pour
l'habitat collectif
en terme
de risque de gel
et
de diminution des
performances**

6- Conclusions :

Utilisation combinée de l'énergie solaire et de la géothermie basse température

- **L'intégration énergétique de l'énergie solaire et de la géothermie est opérationnelle :**
 - **coefficient de performances global du procédé de 2,4 ;**
 - **consommation électrique globale $< 30 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$;**
- **La recharge thermique du sol est effective :**
 - **elle évite les problèmes de surchauffe des capteurs solaires thermiques ;**
 - **amélioration du COP de la PAC en mi-saison, mais sans gain significatifs sur les bilans énergétiques annuels.**

6- Conclusions :

Utilisation combinée de l'énergie solaire et de la géothermie basse température

- Pour **l'habitat individuel et collectif** : le couplage solaire – géothermie n'améliore pas significativement les performances à l'échelle annuelle ;
- Pour **l'habitat individuel** : le couplage solaire – géothermie n'est pas indispensable. Evite néanmoins tout risque d'apparition de glace à long terme ;
- Pour **l'habitat collectif** : le couplage solaire – géothermie est totalement justifié, permet de maintenir les performances à long terme et évite le gel du sol ;
- Pour **l'habitat individuel et collectif** : consommation électrique globale du procédé < 35 kWh/m².an. Consommation plus faible tout à fait accessible avec plus de rigueur dans la conception (performances énergétiques du bâtiment, régulation optimale).

6- Conclusions :

Utilisation combinée de l'énergie solaire et de la géothermie basse température

Perspectives :

- Développer des modèles d'échangeurs géothermiques prenant en compte des « zones centrales de sol » et des « zones périphériques de sol » ;
- Travailler sur des systèmes de contrôle commande pour gérer les différentes sources d'énergie ;
- Développer des outils de dimensionnement (capteurs solaires et échangeurs géothermiques) pour le collectif, prise en compte de pieux énergétiques ;
- Etude du geocooling (freecooling) : confort et effets sur la recharge thermique ;
- Problématique générale du stockage de chaleur dans le sol : quel pourcentage de chaleur injectée dans le sol récupérons nous ?

Remerciements



Cette étude bénéficie du soutien financier de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), du PUCA (Plan Urbanisme Construction et Architecture) et de l'Assemblée des Pays de Savoie.

**Je vous remercie de votre attention
et je suis à votre disposition pour répondre à vos questions**