



SEQINEQ: Comment réduire la dépendance aux énergies fossiles des communautés Inuit au Nunavik

D. Haillot, D. R. Rousse, P. Piché,
S. Gibout, C. Arrabie, X. Py

SOMMAIRE

- 1) Seqineq => Seqineq'
 - 2) Partie expérimentale
 - Développement de l'instrumentation
 - Analyse des données
 - 3) Développement numérique
 - 4) Partage des connaissances
 - 5) Point sur le budget
- Conclusion et perspectives



Photo: Google map



Photo: D. Hailot



Photo: Tugliq

1) SEQINEQ => SEQINEQ'

Insécurité énergétique

Territoire isolé et hors réseau

Climat rude

Dépendance aux produits pétroliers



Image satellite centrée sur le Nunavik (Google map)

**Accroissement de la population =>
croissance de la consommation de
23% tous les dix ans¹**

Objectifs globaux de l'APR SEQINEQ

- 1) Evaluer les besoins énergétiques des communautés**
- 2) Envisager des pistes de réduction de consommation**
- 3) Etudier le potentiel des énergies renouvelables, en particulier le solaire**

4) Etude de cas



Serre de Kuujjuaq (Haillot, 2016)

[1]

HydroQuébec, 2013. Plan d'approvisionnement 2014-2013 des réseaux autonomes demande R-3864-2013.

1) SEQINEQ => SEQINEQ'

SEQINEQ (APR 2016)

1) Quantification de la demande énergétique:

- ✓ Données globales disponibles mais pas locales...

2) Réduction des consommations:

- ✓ Sobriété: difficile à mettre en œuvre car facture « invisible », quelques actions sont néanmoins menées (KMHB et Hydro)
- ✓ Efficacité: chaleur perdue par les groupes électrogènes mis en avant (appartient à HydroQuébec)

3) Développement des ENR

- ✓ REX sur le PV d'Iqaluit;
- ✓ Projet au Nunavik TRI de 13 à 7 ans si tarif de rachat fixé à la deuxième tranche (320 \$/MWh)

4) Etude de cas : serre horticole au Nunavik

- ✓ Instrumentation de la serre (obtention de données irradiation et T°C)



Centrale thermique de Kangiqsujuaq
(Haillot, 2016)

1) SEQINEQ => SEQINEQ'

SEQINEQ' (APR 2017)

Se focalise sur l'étude de cas:

- ✓ Fort intérêt de l'ensemble des parties prenantes (communautés, institutions, chercheurs)
- ✓ Obtention d'une thèse de doctorat (P. Piché), financement MESR

Objectifs de SEQINEQ'

Partie expérimentale

- ✓ Développement de l'instrumentation
- ✓ Analyse des données

Partie numérique (développement du modèle)

Partage des connaissances (site web)

Mise en réseau (projet Audace), perspectives => SEQINEQ²



1) SEQINEQ => SEQINEQ'

Les partenaires



Mai 2016



Laboratoire de Thermique, Énergétique et Procédés,



Groupe T3e, Daniel Rousse



Laboratoire Procédés, Matériaux et Energie Solaire, Xavier Py



Didier Hailot, Stéphane Gibout, Cédric Arrabie et Paul Piché



Les membres de la serre communautaire de Kuujuaq notamment Marc André Lamontagne et Davidee Nulukie

Le centre de recherche du Nunavik

Les membres de l'APR PIRURSIAQ: Annie Lamalice, Véronique Coxam, Thora Hermann, Ellen Avar

Les personnels et étudiants de l'ENSGTI ayant participé à ce travail et notamment Marc Bagole et Elodie Godey



2) Partie expérimentale

SEQINEQ => SEQINEQ'

- **2016=Seqineq**
 - ✓ Instrumentation de la serre avec « data logger » ;
 - ✓ La prise de données nécessite le déplacement d'une personne sur site.
- **2017=Seqineq'**
 - ✓ Développement d'une instrumentation modulable et permettant de recueillir les données en ligne ;
 - ✓ Contraintes principales : l'environnement (coupure électrique, humidité, basse température), le coût, la distance entre la serre et la connexion internet.



2) Partie expérimentale

Systeme développé

Le prototype d'instrumentation est composé de deux types modules:

- ✓ Un « master » qui centralise, sauvegarde et communique les données par internet ;
- ✓ Un « serre » qui acquérir les données et les transmet au master.

Ces modules utilisant des cartes électroniques

- ✓ Peu onéreuses ;
- ✓ Robustes ;
- ✓ Poids et encombrement faible ;
- ✓ Environnement de programmation libre et ouvert ;
- ✓ Standardisées.

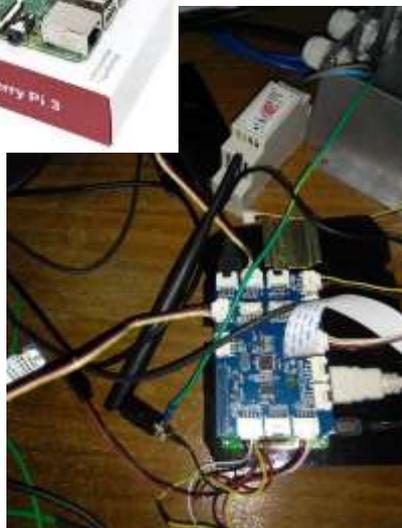


2) Partie expérimentale

Systeme développé

Ces modules constitués :

- ✓ D'une carte mère **Raspberry Pi 3** sous environnement Debian ;
- ✓ D'une carte UPS (*Uninterrupted Power Supply*) **StromPI 2** qui surveille l'alimentation du système et le protège en cas de coupure de courant ;
- ✓ D'une carte d'acquisition **Grove Pi +** qui offre une connexion standardisée pour les différents capteurs.

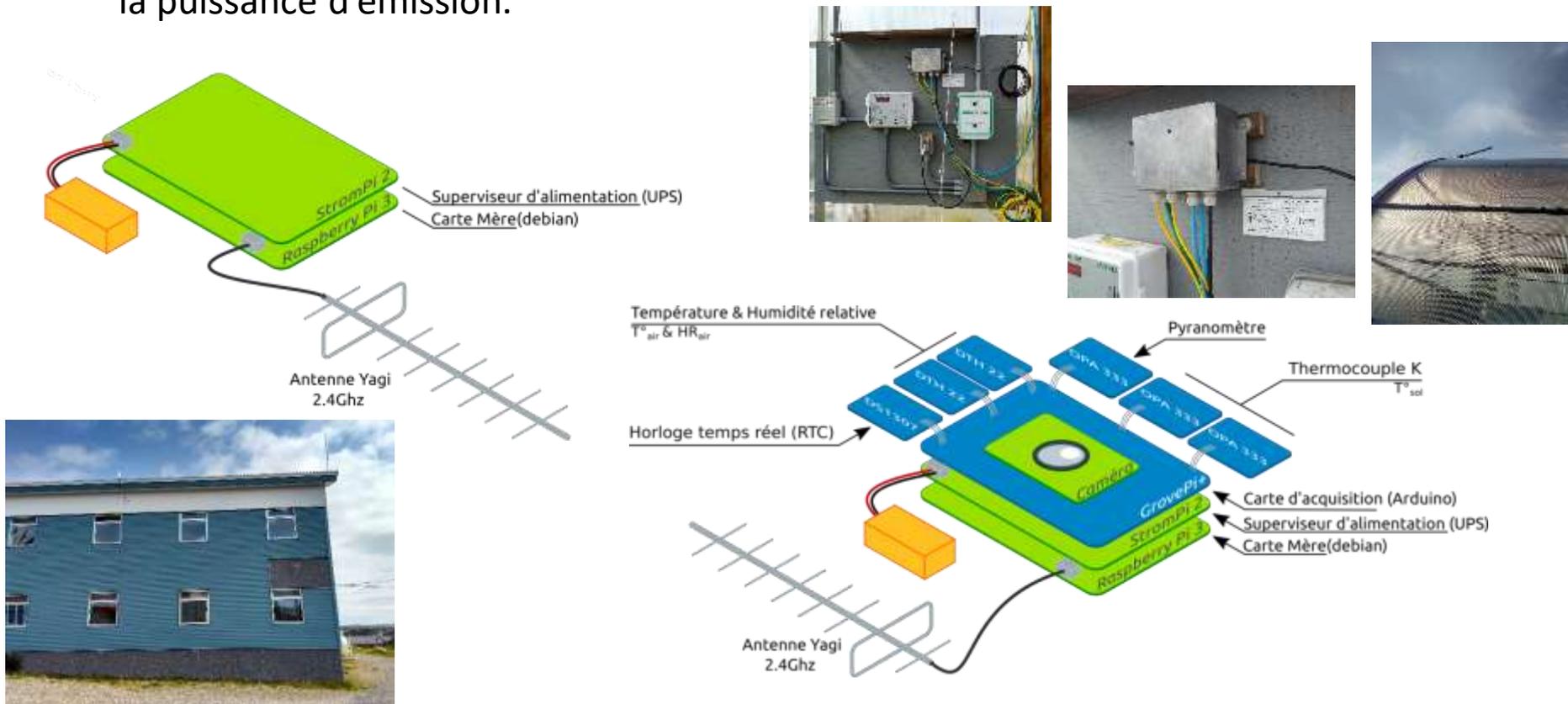


2) Partie expérimentale

Système développé

- Le prototype d'instrumentation

- ✓ Pour pallier le problème du transfert de données sur une longue distance, l'antenne wifi du raspberry pi a été remplacée par une antenne de type Yagi afin de « booster » la puissance d'émission.



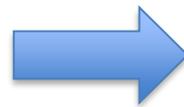
2) Partie expérimentale

Rassemblement et fiabilisation des données

- Données sur plus d'un an
- Plus de 1,5 million de points de données
- Données dispersées
- Uniformisation des données



Capteur de la serre de Kuujuaq, Haillot, 2016



Logging Nr.	Date	P1 (W.m ²)
1	14-06-16 17:22:25	538
2	14-06-16 17:27:25	527
3	14-06-16 17:32:25	516
4	14-06-16 17:37:25	502
5	14-06-16 17:42:25	491
6	14-06-16 17:47:25	477
7	14-06-16 17:52:25	466
8	14-06-16 17:57:25	452
9	14-06-16 18:02:25	438
10	14-06-16 18:07:25	423
11	14-06-16 18:12:25	413
12	14-06-16 18:17:25	395
13	14-06-16 18:22:25	384
14	14-06-16 18:27:25	369
15	14-06-16 18:32:25	359
16	14-06-16 18:37:25	345
17	14-06-16 18:42:25	333
18	14-06-16 18:47:25	320
19	14-06-16 18:52:25	305
20	14-06-16 18:57:25	294
21	14-06-16 19:02:25	283
22	14-06-16 19:07:25	269
23	14-06-16 19:12:25	258
24	14-06-16 19:17:25	244
25	14-06-16 19:22:25	233



Date	T C01 (°C)	T C02 (°C)	T C03 (°C)	T C04 (°C)
25-03-17 23:45	-15,3	-15,7	-15,7	-14,8
26-03-17 00:15	-15,6	-16,0	-16,0	-15,1
26-03-17 00:45	-15,9	-16,2	-16,3	-15,3
26-03-17 01:15	-16,2	-16,5	-16,5	-15,5
26-03-17 01:45	-16,5	-16,8	-16,8	-15,8
26-03-17 02:15	-16,8	-17,1	-17,1	-16,1
26-03-17 02:45	-17,0	-17,4	-17,4	-16,4
26-03-17 03:15	-17,3	-17,6	-17,6	-16,7
26-03-17 03:45	-17,5	-17,8	-17,8	-16,9
26-03-17 04:15	-17,7	-18,0	-18,0	-17,2
26-03-17 04:45	-17,9	-18,3	-18,3	-17,5
26-03-17 05:15	-18,2	-18,5	-18,5	-17,8
26-03-17 05:45	-18,4	-18,8	-18,8	-18,1
26-03-17 06:15	-17,6	-18,8	-17,9	-18,3
26-03-17 06:45	-12,0	-13,7	-11,7	-15,9
26-03-17 07:15	-4,1	-5,6	-3,6	-10,6
26-03-17 07:45	2,8	2,8	4,0	-4,4
26-03-17 08:15	9,0	9,3	9,9	1,2
26-03-17 08:45	13,5	16,1	16,5	6,6
26-03-17 09:15	18,9	20,8	20,4	11,1
26-03-17 09:45	24,4	22,6	22,9	15,3
26-03-17 10:15	27,7	26,4	26,2	19,2

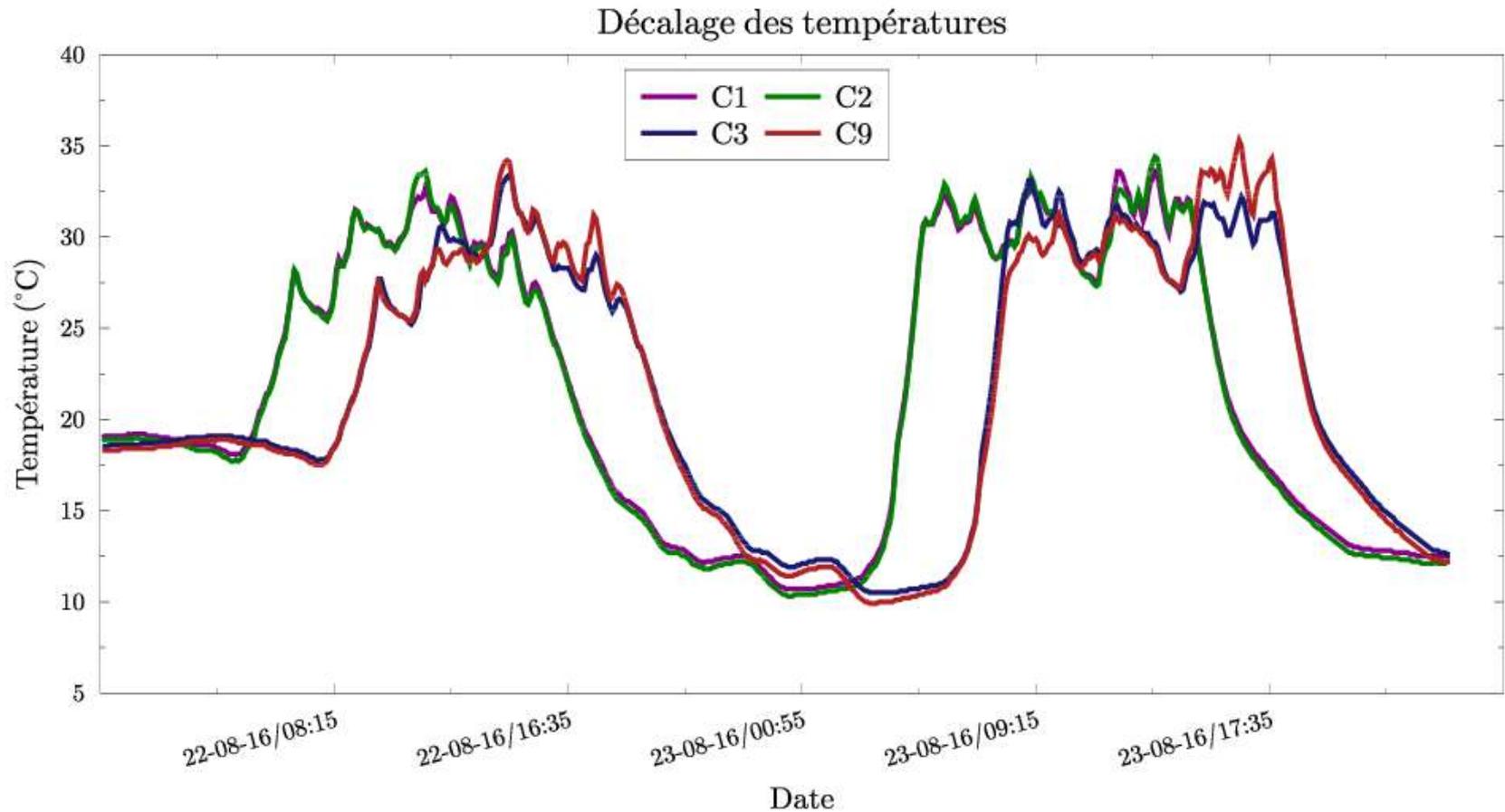


Record Time	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)
09-06-16 17:39:20	31,6	50,8
09-06-16 17:40:20	31,7	50,5
09-06-16 17:41:20	31,5	48,8
09-06-16 17:42:20	31,2	48,1
09-06-16 17:43:20	31	48,1
09-06-16 17:44:20	30,8	48,4
09-06-16 17:45:20	30,6	48,7
09-06-16 17:46:20	30,4	48,9
09-06-16 17:47:20	30,2	49,2
09-06-16 17:48:20	30	49,7
09-06-16 17:49:20	29,9	49,9
09-06-16 17:50:20	29,7	50,5
09-06-16 17:51:20	29,6	50,5
09-06-16 17:52:20	29,4	50,7
09-06-16 17:53:20	29,2	50,7
09-06-16 17:54:20	29,1	51,1
09-06-16 17:55:20	28,9	51,6
09-06-16 17:56:20	28,8	51,8
09-06-16 17:57:20	28,6	51,8
09-06-16 17:58:20	28,4	52
09-06-16 17:59:20	28,3	52,8



2) Partie expérimentale

Rassemblement et fiabilisation des données

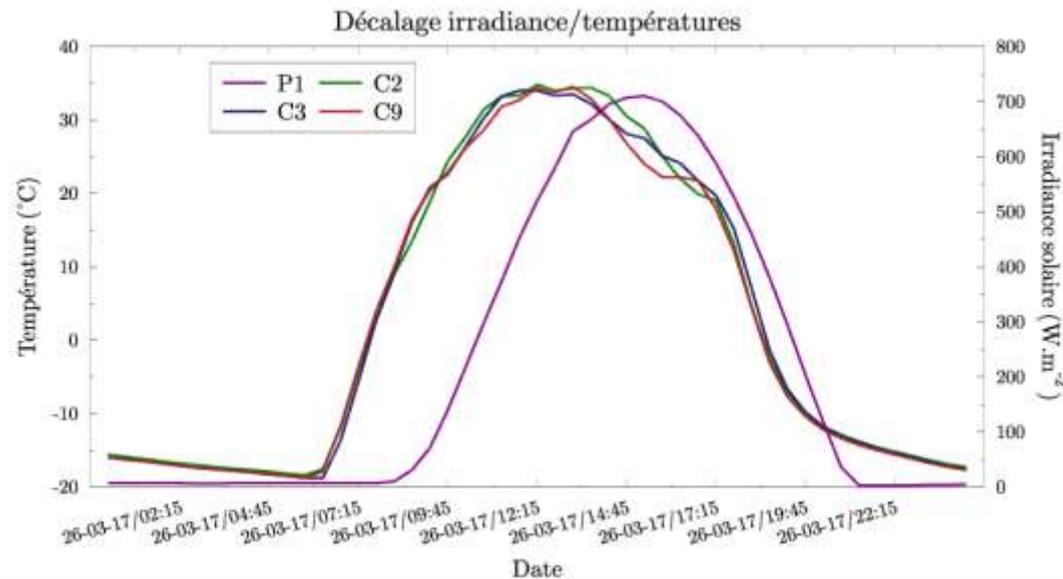


- Décalage en temps au moment de la récupération des données
- Synchronisation manuelle des relevés de température et d'ensoleillement

2) Partie expérimentale

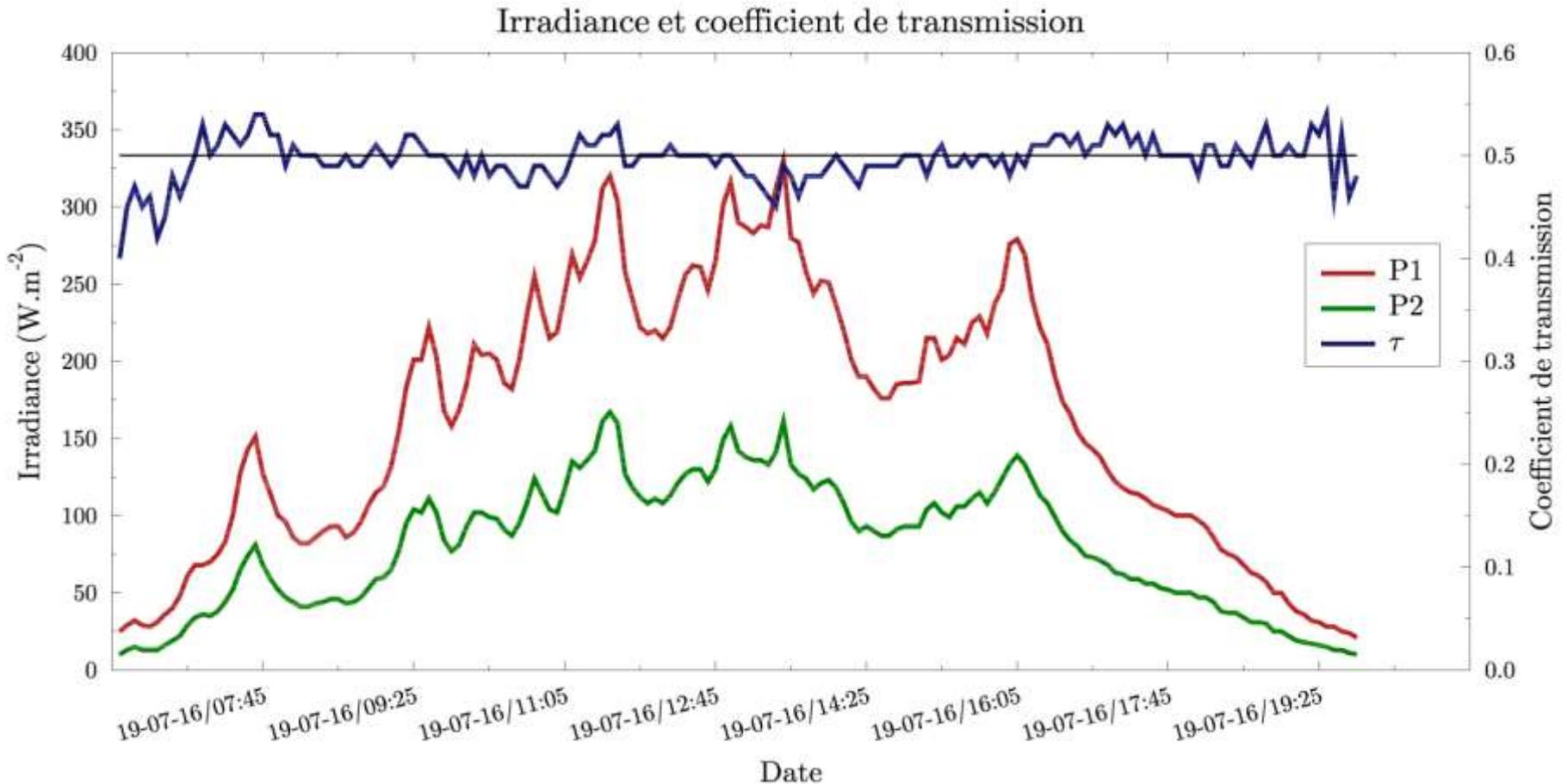
Rassemblement et fiabilisation des données

- Difficultés à obtenir des données standardisées avec les data logger
- Désynchronisation temporelle des flux de données
- Nouvelle instrumentation permet de s'affranchir de ces problèmes avec 3 objectifs :
 - 1) Obtenir des données « propres » (fiables et synchrones)
 - 2) Comprendre le comportement thermique de la serre pour nous guider vers les solutions les plus adaptées
 - 3) Fournir des données pour le modèle (données d'entrée et de sortie pour la validation)



2) Partie expérimentale

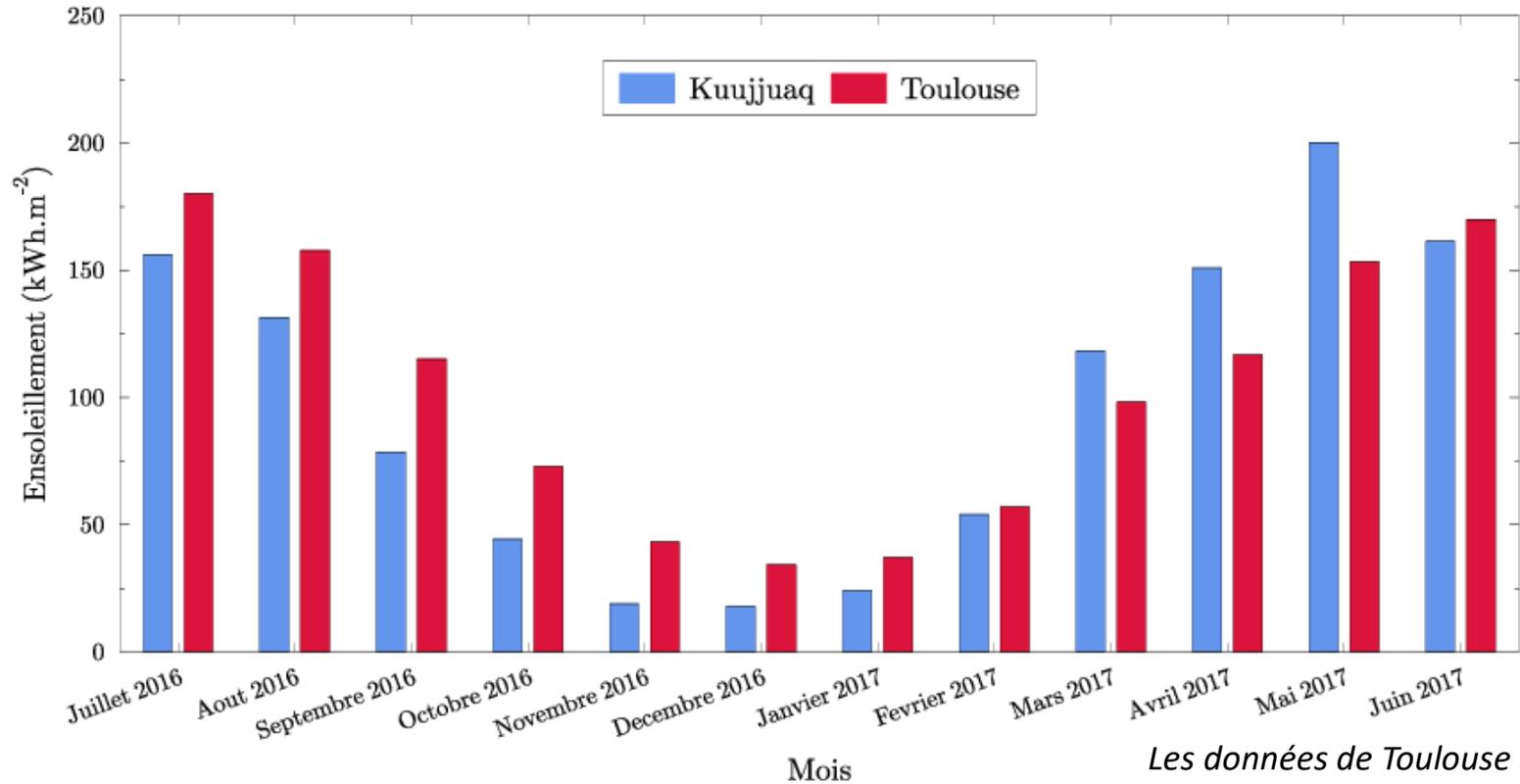
Analyse des données



- Rayonnement diffus bien pris en compte
- Coefficient de transmission quasiment constant

2) Partie expérimentale

Analyse des données



Les données de Toulouse sont une moyenne sur 15 ans (1990-2005)

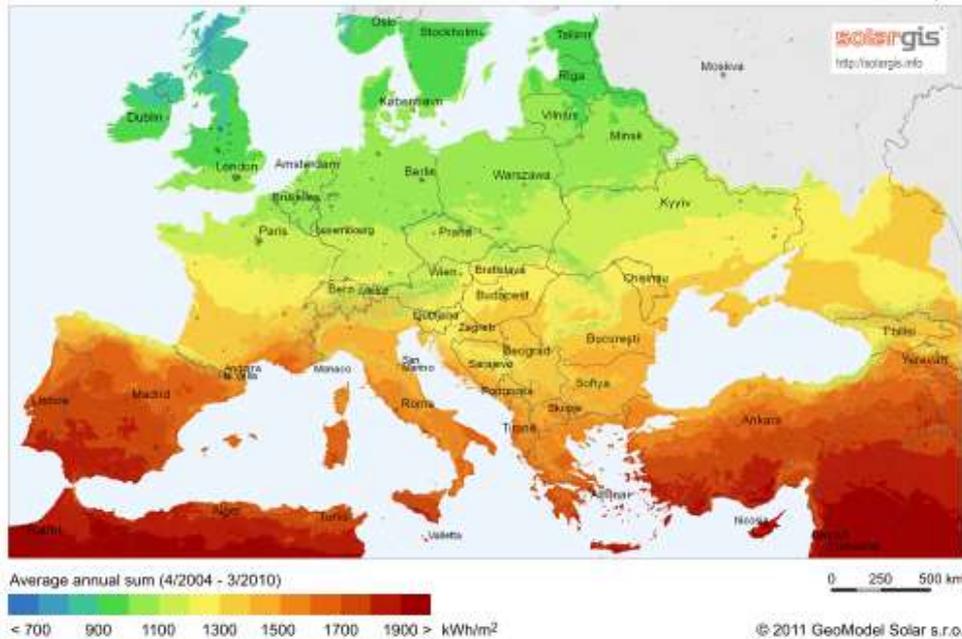
- Energie solaire mensuelle
- Données novatrices n'existant pas dans la littérature
- Données d'entrée nécessaires à la modélisation de la serre et de tout système solaire (PV, thermique)

2) Partie expérimentale

Analyse des données

Potentiel solaire annuel équivalent au sud de l'Allemagne

Global horizontal irradiation

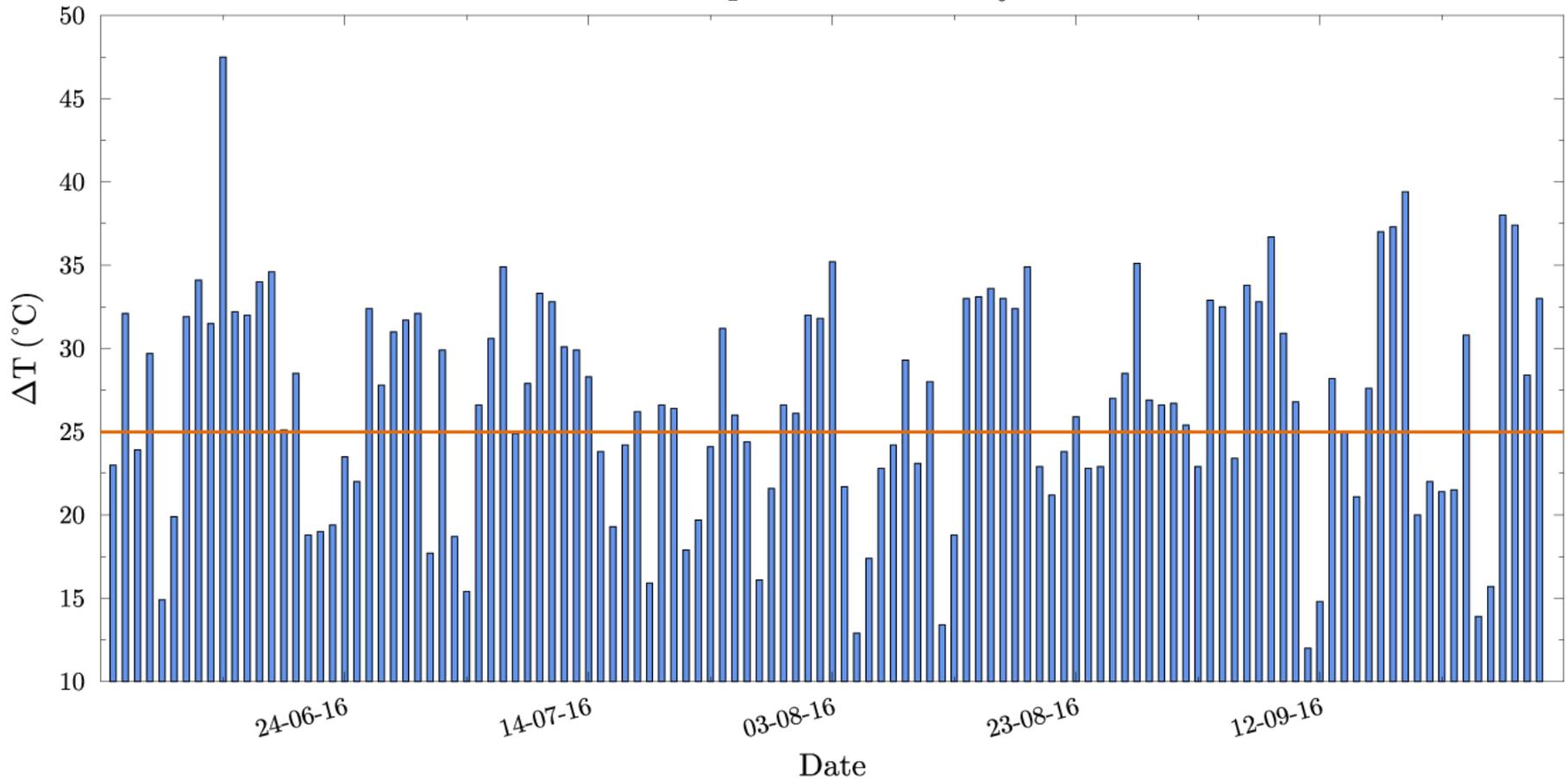


Bâtiment chauffé avec énergie solaire thermique

2) Partie expérimentale

Analyse des données

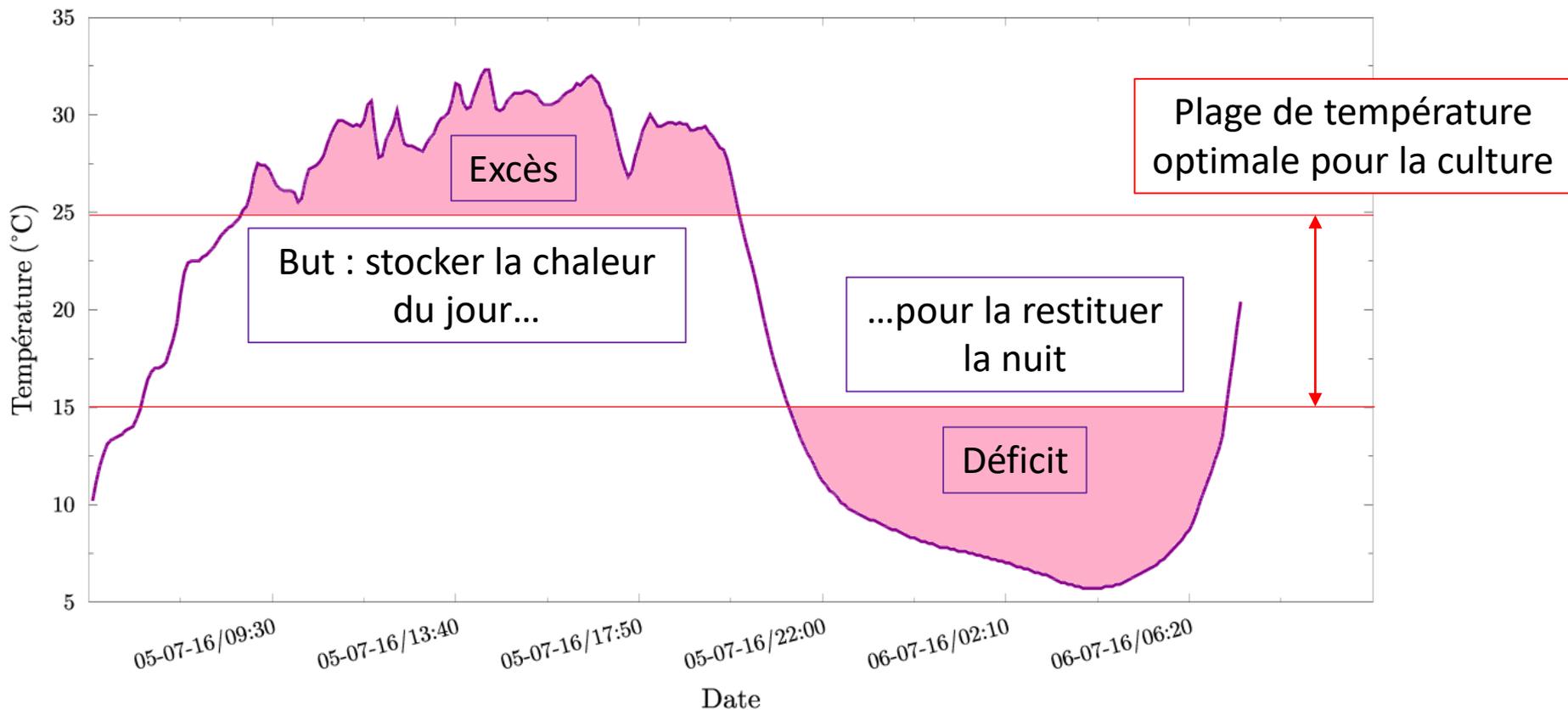
Différence de température entre le jour et la nuit



ΔT important avec une moyenne de 25°C durant la période de culture

2) Partie expérimentale

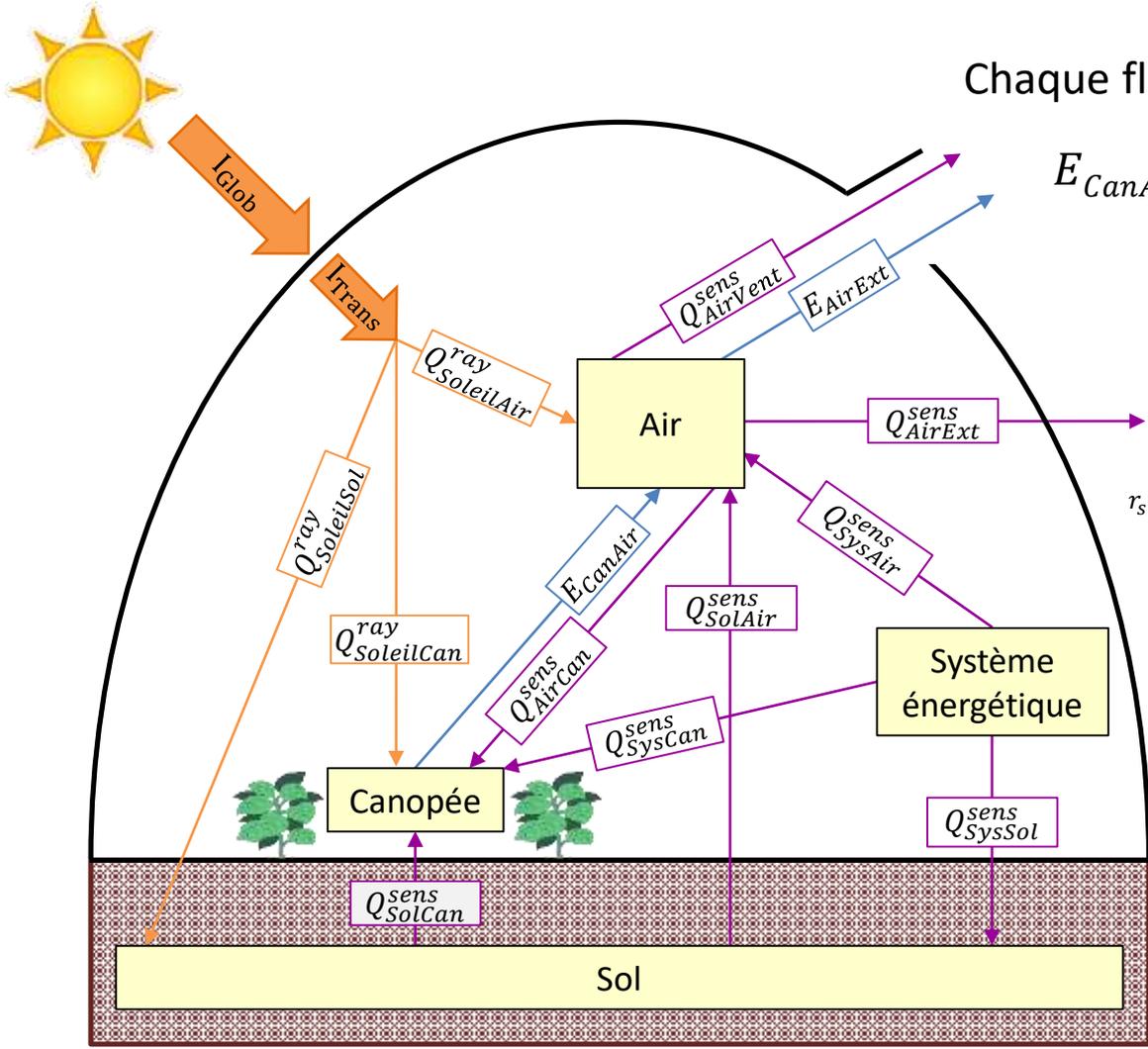
Analyse des données



Utilisation de système de stockage (cuve d'eau, lit de pierre, MCP, géothermie...)
 - Quantification de l'apport nécessite un modèle numérique

3) Développement numérique

Pourquoi un modèle ?



Chaque flux peut avoir une forme complexe :

$$E_{CanAir} = K_{CanAir} (P_{H_2O,Can}^{Sat} - P_{H_2O,Air})$$

$$\text{Avec : } K_{CanAir} = \frac{2\rho_{Air}c_{p,Air}LAI}{\Delta H\gamma(r_a + r_s)}$$

$$r_s = r_{s,min} \frac{R_{Can} + c_{evap1}}{R_{Can} + c_{evap2}} (1 + c_{evap3}(\eta_{mg_ppm}[CO_2]_{Air} - 200)^2)$$

- Flux radiatif
- Flux de matière (eau, CO₂)
- Flux par conduction ou convection

3) Développement numérique

Objectif et caractéristique du modèle

Objectif principal : outil de design énergétique en libre accès (communautés)

Optimisation

Modèle

Caractéristiques :

- Rapide et ouverts aux adaptations
 - Structure modulaire intégrant un couplage lâche
- Bilan hydrique permettant de prendre en compte l'interaction forte végétal/climat
- Intégration de la ventilation

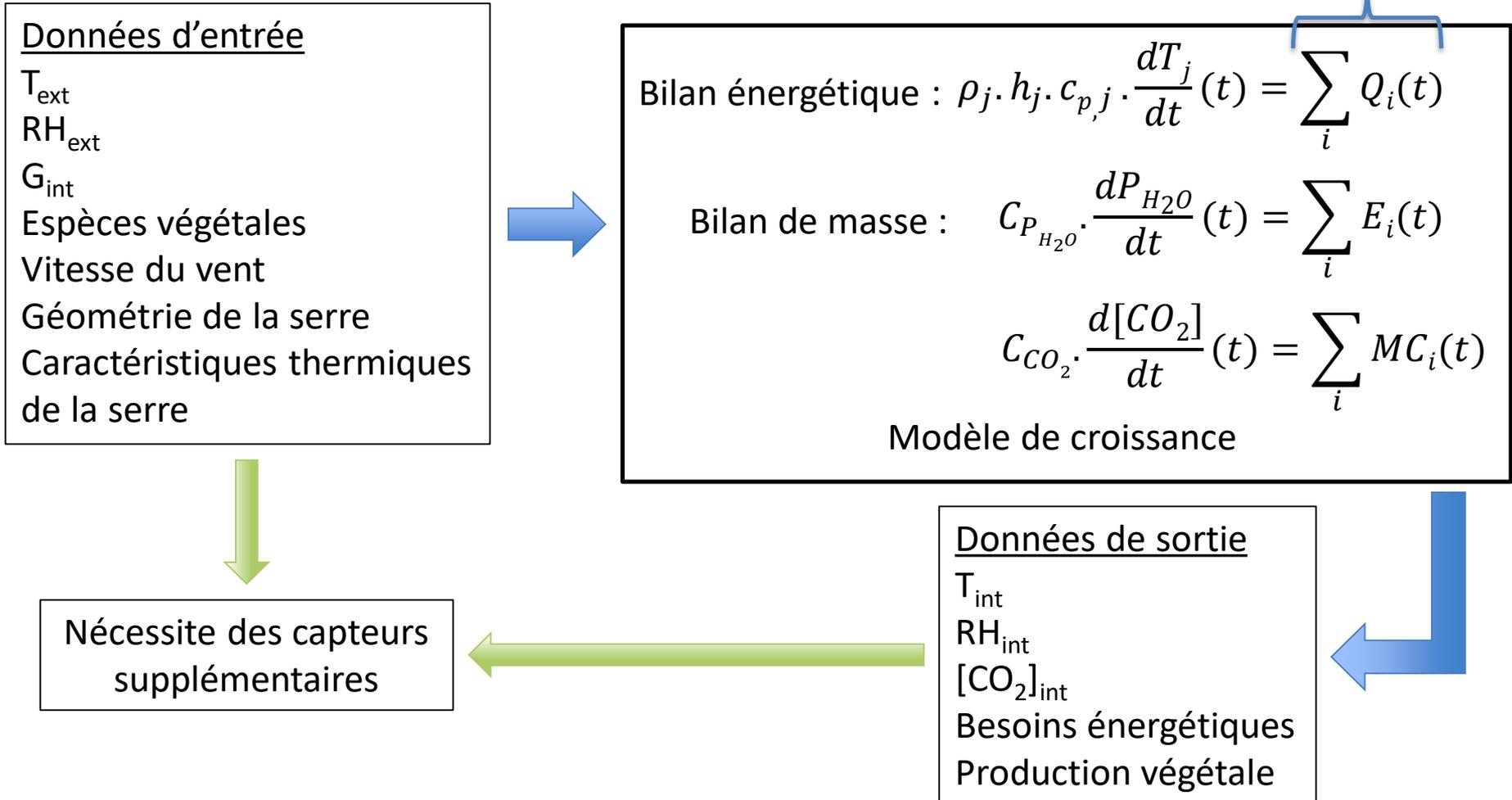
Hypothèses :

- Modèle 0D (pas de gradient) instationnaire => modèle de « l'enceinte parfaitement brassée »
- Inerties portés par le vitrage, l'air intérieur et un élément inertiel « global » (couvert végétal, équipements, stock d'eau, etc.)

3) Développement numérique

Principe du modèle

Conduction, convection,
rayonnement,
évapotranspiration



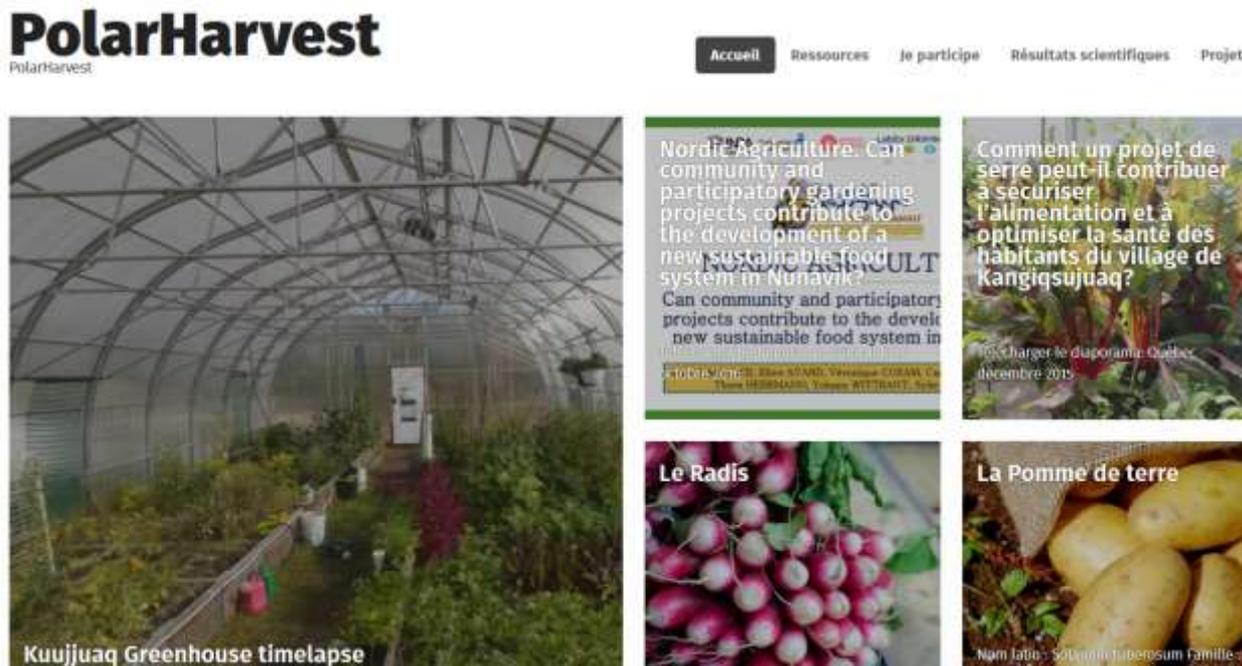
4) Partage des connaissances

Mise en place du site web

Objectifs :

- ✓ Créer une communauté de jardinier\ producteur;
- ✓ Transferts de connaissances;
- ✓ Faire rayonner nos résultats scientifiques.

<https://www.polarharvest.com>



The screenshot shows the PolarHarvest website interface. At the top left is the logo "PolarHarvest" with "PolarHarvest" written below it. To the right is a navigation menu with buttons for "Accueil", "Ressources", "Je participe", "Résultats scientifiques", and "Projet". Below the navigation is a large image of a greenhouse with the caption "Kuujjuaq Greenhouse timelapse". To the right of the greenhouse image are two article thumbnails. The top one is titled "Nordic Agriculture. Can community and participatory gardening projects contribute to the development of a new sustainable food system in Nunavik?" and includes the text "Can community and participatory projects contribute to the develop new sustainable food system in". Below it is a thumbnail for "Le Radis" showing a bunch of radishes. To the right of the radish thumbnail is another article thumbnail titled "La Pomme de terre" showing potatoes, with the text "Nom latin : Solanum tuberosum Famille :".

Conclusion et perspectives

Projet couplant étude expérimentale et numérique

Développement d'un nouveau dispositif de mesure :

- Robuste, fiable, peu cher et standardisé ;
- En « open » source ;
- Reproductible et adaptatif.

Seqineq² => dispositif avec CO₂ et v_{vent} + version 2 au CEN

Mise en place du modèle numérique :

- Démarrage thèse MESR;
- Mise en place des équations;
- Dispositif de design => optimisation



SEQINEQ²

Site internet

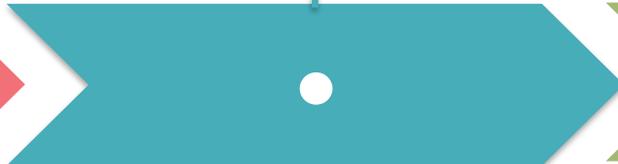
- Pour créer une communauté de « jardinier » au sein des communautés Inuit

Perspectives nombreuses

Conclusion et perspectives

Projet collaboratif de grande envergure

Dépôt projet Audace + plan Nord + Seqineq²



2018-2019



OHMI-CFQCU-MESR



ANR-CRSNG, H2020, UMI ?

Valorisation

Publication

- Lamalice A., Haillot D, Herrmann T., Lamontagne MA., Gibout S., Blangy S, Martin JL., Coxam V., Arsenault J, Munro L, Courchesne F. **Building food and energy security in the Canadian Arctic through community greenhouses**, Ecoscience soumis le 22 septembre 2017.
- Blangy S., Bernier M., Avard E., Aenishaenslin C., Bastian S., Bhiry N., Chanteloup L., Coxam V., Decaulne A., Dedieu J.P. , Gérin-Lajoie J., Gibout S, Haillo, D., Hébert-Houle E., Herrmann T.M, Joliet F., Lamalice A., Le Merre E., Lévesque E., Ravel A., Rouse D.R. **Adaptation measures for improving the wellbeing of Inuit communities facing the cumulative effects of climate and socio-economic changes in Nunavik**, Regional Environmental Change soumis le 3 mars 2017.

Conférence

- Piche P., Haillot D., Gibout S., Arrabie C., Lamalice A., Rouse D.R., Py X., **On the way to developing northern greenhouses adapted to population and climate: energy issues**, Artic change 12-15th December 2017, Quebec, Canada
- P. Piche, S. Gibout, D. Haillot, C. Arrabie, A. Lamalice, D.R. Rouse, X. Py, **Modélisation d'une serre horticole en milieu circumpolaire**, Congrès de la Société Française de Thermique, 29 Mai- 1^{er} Juin 2018, Pau, France



Merci de votre attention

LabEx DRIIHM



www.polarharvest.com

