

La boulangerie solaire low-tech

— Un exemple de solution socio-technique à la problématique énergétique

Guillaume Guimbretiere - Benjamin Pillot#*

* TREE – UMR6031 CNRS / Université de Pau et Pays de l'Adour

Espace-DEV (UMR228, IRD, Universités de Montpellier, Guyane, La Réunion, Antilles, Nouvelle Calédonie)

Contexte
&
Problématique globale

Il faut de l'énergie & de la matière pour récupérer de l'énergie ou de la matière

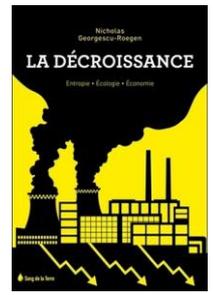
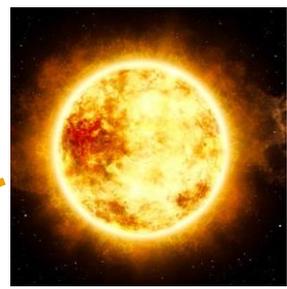
Système fermé pour la matière



Thermodynamique

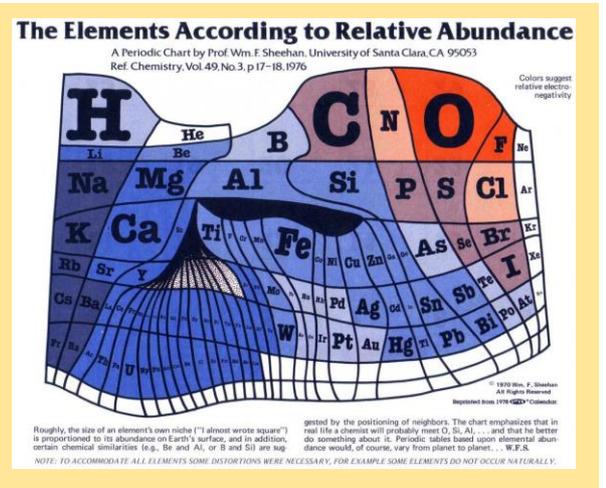
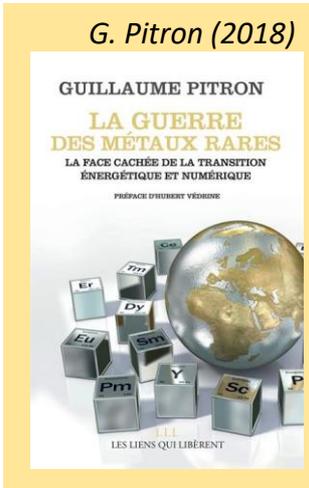


Système ouvert pour l'énergie (solaire)

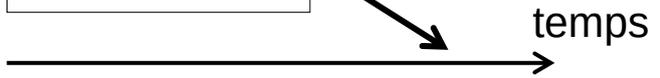


Two new thermodynamic laws :
 A – No mechanical work can be performed without the use of matter in bulk.
 B – No closed system – i.e., no system that can exchange only energy with the outside – can perform mechanical work at a constant rate indefinitely.

N. Georgescu-Roegen (1979)



Disponibilité
 Accessibilité



Le problème de la transition énergétique

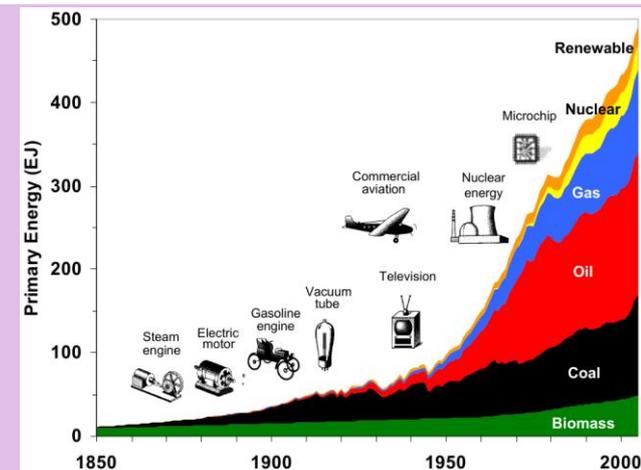


→ Une histoire additive des sources d'énergies
→ il n'y a jamais eu de transition énergétique !

↳ Symbioses énergétiques

→ La transition énergétique : un concept apparu dans les années 70

↳ Processus d'innovation → appliquée à l'énergie (substitution)



Nos systèmes techniques sont non-durables

&

Nous ne savons pas ce qu'est une Transition énergétique

Penser la *transition* comme une
birfucation plutôt qu'une *substitution* ?

[D. Loorbach et al.,
Annu. Rev. Environ. Resour.
42, 599-626 (2017)]

: il faut penser et agir différemment ...

Cadre épistémologique

Orientée-solution / Transdisciplinaire / Co-construction avec les acteurs locaux

≠

Orientée-connaissance / Disciplinaire / Co-construction entre experts

Si l'énergie n'est pas la clef principale de la transition écologique vers la durabilité ?

humains → technologie → environnement



Energie
Matière

Les technologies au coeur du défi de la durabilité

Transition technologique plutôt qu'énergétique !

Low-tech Sobriété / durabilité / convivialité

-> écologiquement neutre

-> socialement vertueuse

Le problème de la non durabilité de la cuisson du pain – la Réunion 974

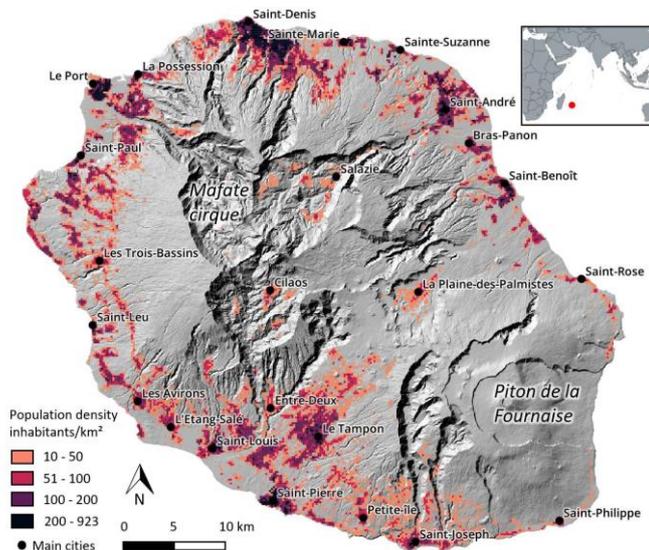
Energie & activité boulangère

Transformation alimentaire des céréales et féculents

→ Apport énergétique historique de l'humanité

Plus de 50 % de l'énergie d'une boulangerie dans la cuisson !

Energie non négociable dans un scénario de sobriété choisie



→ **La cuisson solaire : une solution à la non-durabilité ?**

Analyse combinée de :

- + Flux solaire territorial
- + Four boulanger solaire
- + Itinéraire de pratique du boulanger
- + Comportement de consommation



Stage M1 Corrie Mathiak
[Christophe Révillion]

Vers une filière boulangère solaire à la Réunion ?

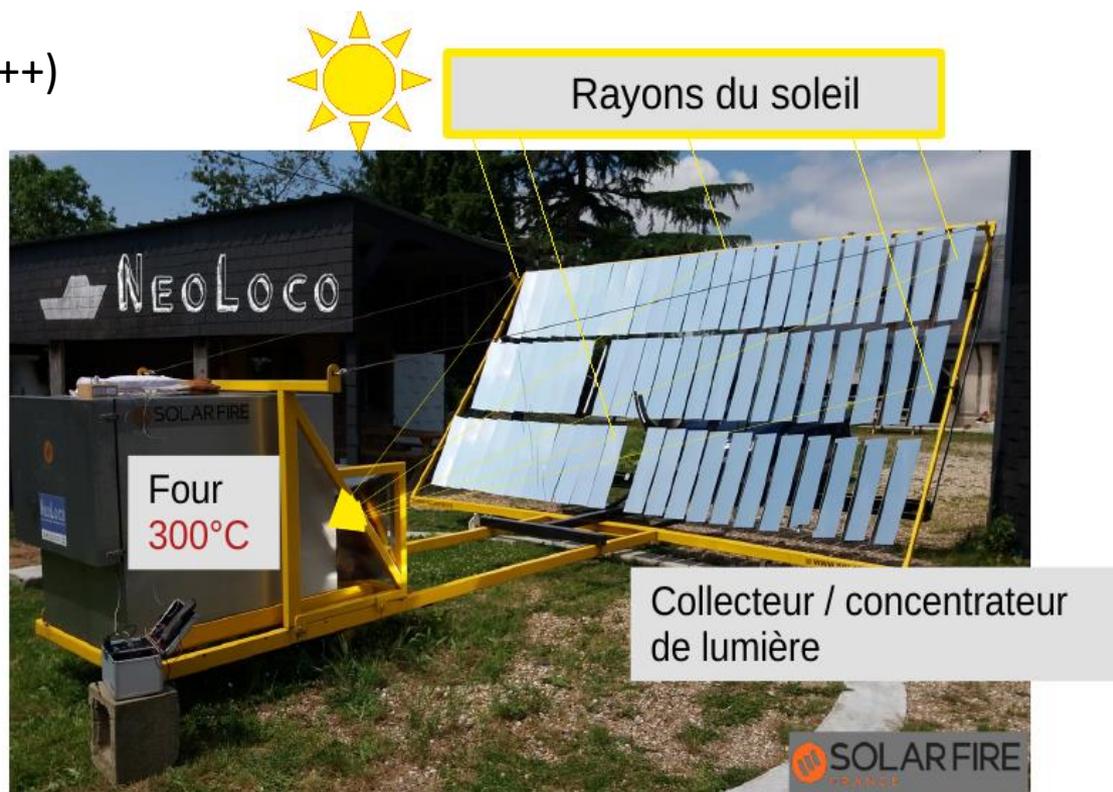
***La boulangerie solaire
à concentration directe***

Neoloco : le boulanger solaire normand

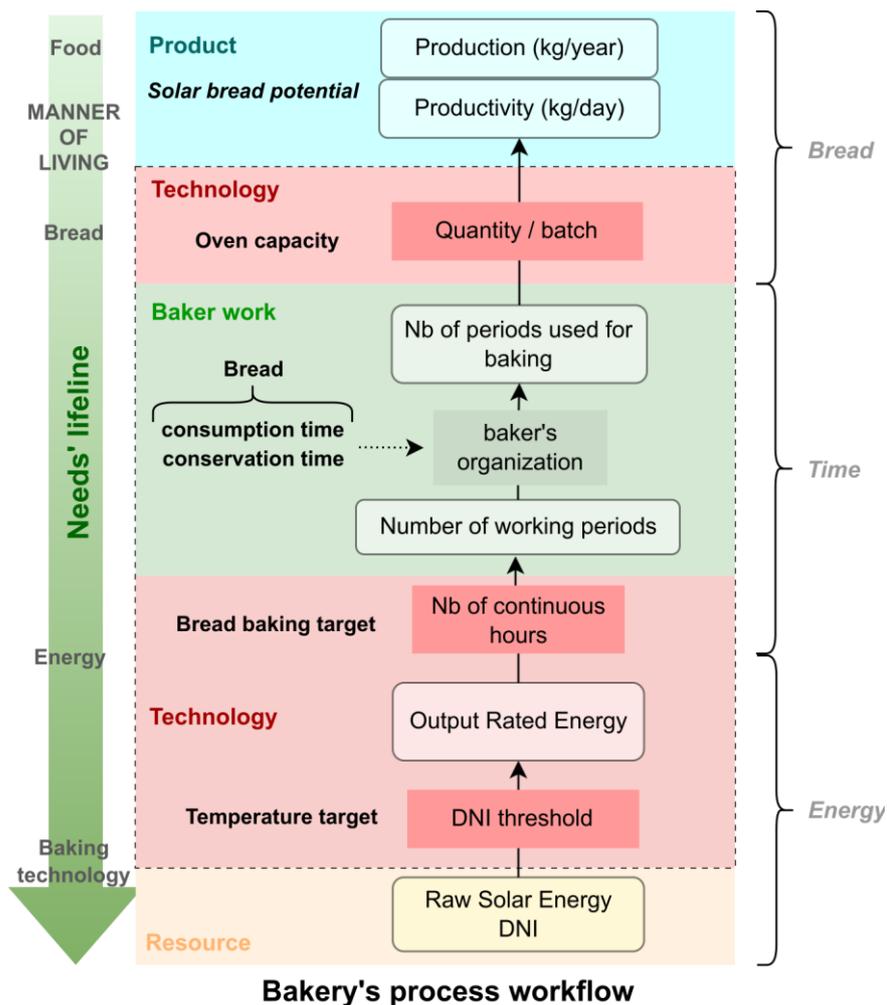
- pain au levain (conservation, goût, nutrition +++)
- Production 1 fois par semaine, le jeudi
- Si absence de soleil : cuisson au feu de bois (1 fois sur 2)
- Pré-commande
- Livraison à vélo en dépôt de pain
- Farines locales

**Fonctionne aux rythmes
du soleil et de l'artisan ...**

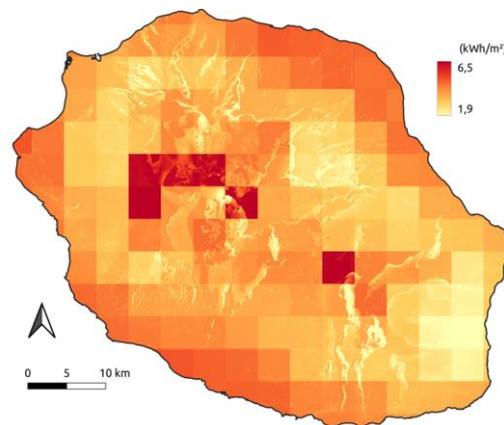
Le four solaire n'est pas pensé comme une substitution électrique → solaire
Pas de combustible ni d'électricité : Zéro émission directe ou indirecte de CO2, particules, GES
Low-tech : entretien, prise en main facile
Énergie gratuite



Calcul du potentiel de production de pain solaire



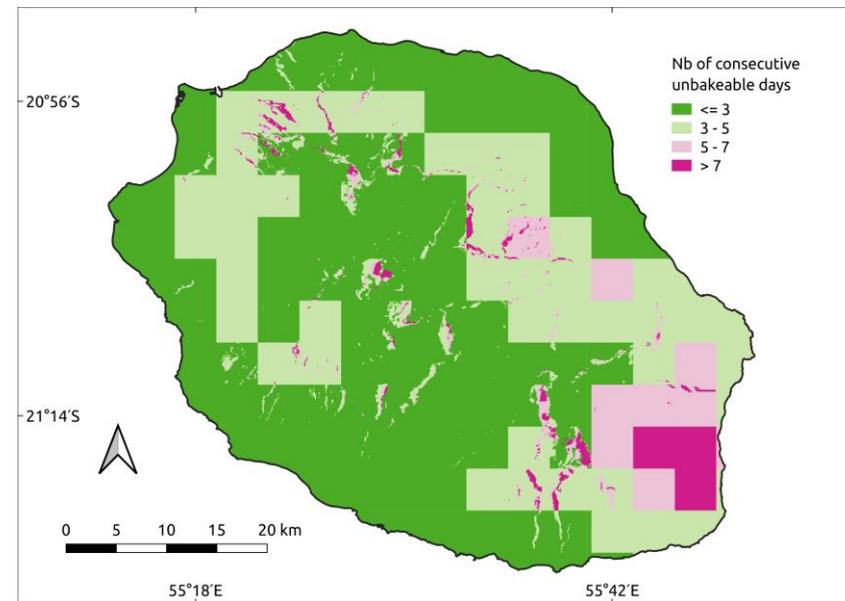
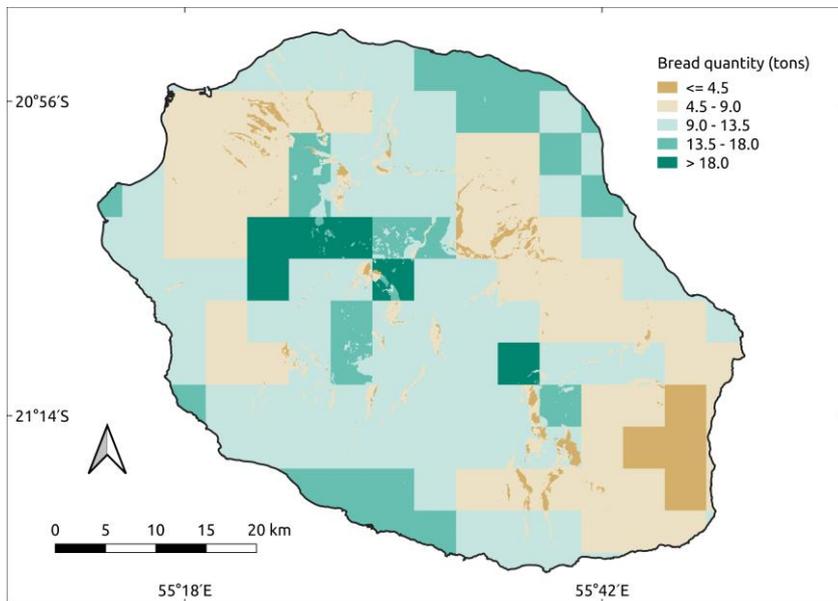
Le four ne produit pas d'énergie
... mais du temps de cuisson



Séries spatio-temporelles
Direct Normal Irradiation (DNI)
2017, 2018, 2019
Résolution = 1h



Le potentiel de production de pain solaire à la Réunion



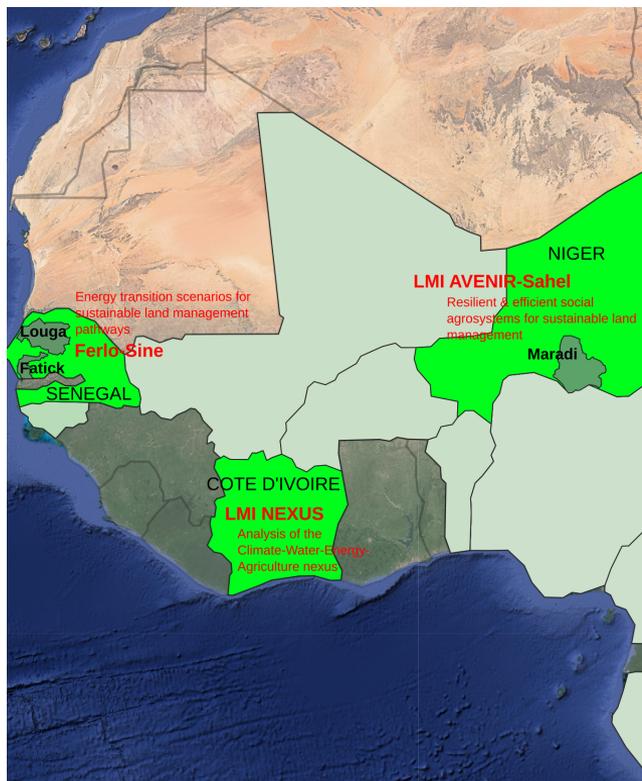
Name	Location	Fuel	Sales model	Work strategy (baking days / week)	Yearly production* (t/y)	Price range (€/kg)
Neoloco	Normandie (Europe)	Sun or Wood	Pre-sale & bread deposit	1	7 - 8	-
Le pain nourricier	Entre-deux	Wood	Market place	2	6	6 - 12
Au coin du levain	Sainte-Marie	Electricity	Shop	3	12 - 15	8 - 15
Cassava	Saint-Paul	Electricity	Shop	5	16 - 20	-

* Yearly production is calculated from daily or weekly productivity with a year equal to 50 weeks

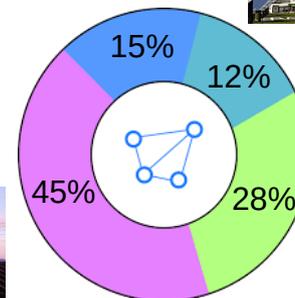
***SBK : planifier une transition durable
du secteur boulanger***

Un petit détour par la modélisation des systèmes *net-zero*

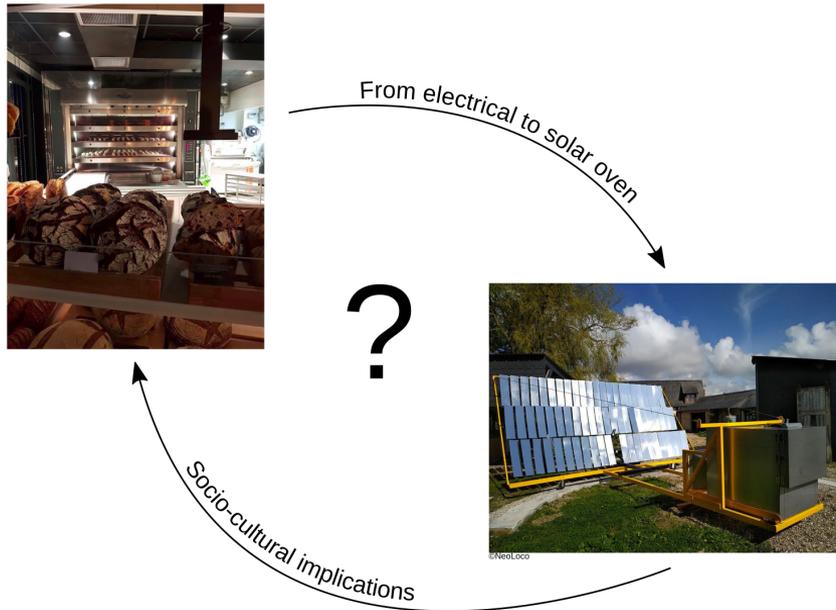
ANR **NZEMIX** (2024-2028) : modélisation *bottom-up* et *top-down* du mix énergétique en Afrique de l'Ouest



➔ Scénarios mix *net-zero* horizon 2050



D'une tech *vertueuse* vers une filière *durable* : une autre approche



Adaptation/transformation (locale)

- Potentiel + variabilité solaire
 - Nvelles stratégies de prod.
 - Pain de longue conservation
- Régime/habitudes alimentaires population

D'une tech *vertueuse* vers une filière *durable* : une autre approche



From electrical to solar oven

?

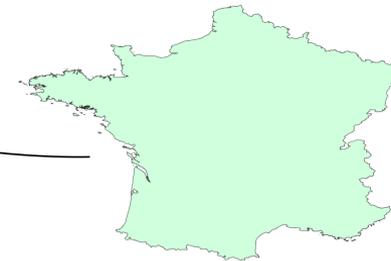


Socio-cultural implications

From micro to macro

?

Socio-technical drivers



Filière régionale

- Besoins de la population
- Distribution spatiale
- Scénarios de mobilité
- ...

Adaptation/transformation (locale)

- Potentiel + variabilité solaire
 - Nvelles stratégies de prod.
 - Pain de longue conservation
- Régime/habitudes alimentaires population

Le modèle *SBK* : une approche probabiliste et spatiotemporelle

Des indicateurs

- Probabilité de consommation

$$p_c^b = P\left(q_c \geq \frac{\mu_R X_p}{N_{c,b}^* F_R(d) E[R_{0,d}]}\right)$$

- Accessibilité

$$b_a = P(X_p^* \leq N_{c,b}^{nom} \cdot Q |_{p_c=x})$$

- Viabilité

$$b_v = b_a \cdot P(X_p \geq X_p^*)$$

- Rentabilité (*bread turnover*)

$$R_B = X_p p_c$$

Spatialisation

Temporalité

Le modèle *SBK* : une approche probabiliste et spatiotemporelle

Des indicateurs

- Probabilité de consommation

$$p_c^b = P\left(q_c \geq \frac{\mu_R X_p}{N_{c,b}^* F_R(d) E[R_{0,d}]}\right)$$

- Accessibilité

$$b_a = P(X_p^* \leq N_{c,b}^{nom} \cdot Q |_{p_c=x})$$

- Viabilité

$$b_v = b_a \cdot P(X_p \geq X_p^*)$$

- Rentabilité (*bread turnover*)

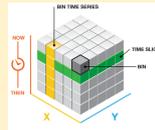
$$R_B = X_p p_c$$

Spatialisation

Temporalité

Un modèle numérique spatiotemporel

- Données de rayonnement (grid, sparse)
- Intégration modèle de four (calcul X_p)
- Méthode de Monte Carlo
- Un package *Python* Open-Source



Le modèle *SBK* : une approche probabiliste et spatiotemporelle

Des indicateurs

- Probabilité de consommation

$$p_c^b = P\left(q_c \geq \frac{\mu_R X_p}{N_{c,b}^* F_R(d) E[R_{0,d}]}\right)$$

- Accessibilité

$$b_a = P(X_p^* \leq N_{c,b}^{nom} \cdot Q |_{p_c=x})$$

- Viabilité

$$b_v = b_a \cdot P(X_p \geq X_p^*)$$

- Rentabilité (*bread turnover*)

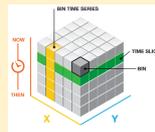
$$R_B = X_p p_c$$

Spatialisation

Temporalité

Un modèle numérique spatiotemporel

- Données de rayonnement (grid, sparse)
- Intégration modèle de four (calcul X_p)
- Méthode de Monte Carlo
- Un package *Python* Open-Source



Focus interdisciplinaire

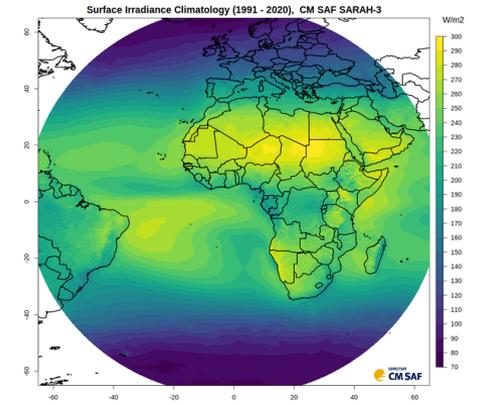
- Interface technique-société
- Interactions et synergies avec les SHS



Études de cas

Gisement solaire

- SARAH-3 DNI

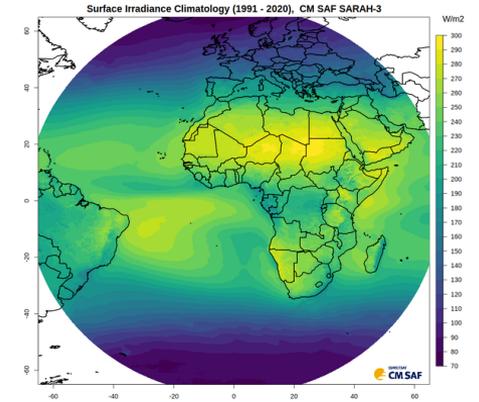
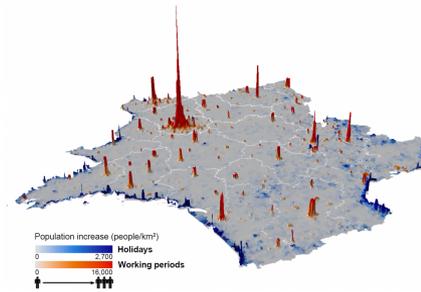


Gisement solaire

- SARA3-3 DNI

Population

- WorldPop 2020 1km (fixe)
- WorldPop 2007 100m (dynamique)

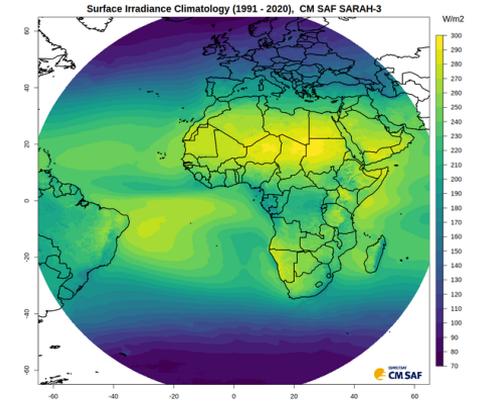
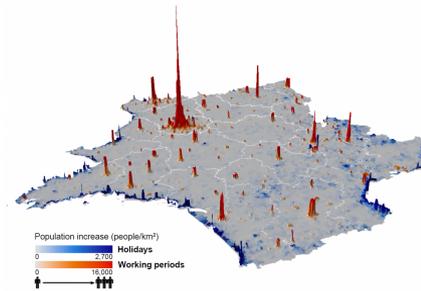


Gisement solaire

- SARAH-3 DNI

Population

- WorldPop 2020 1km (fixe)
- WorldPop 2007 100m (dynamique)



Pratiques alimentaires

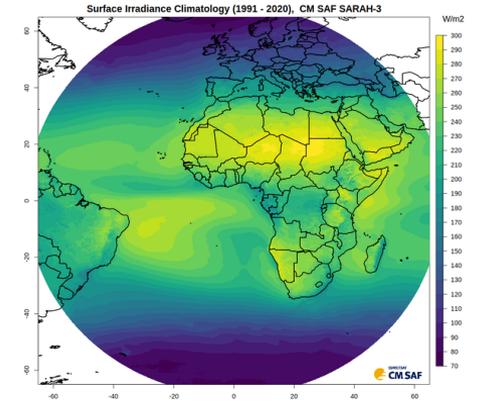
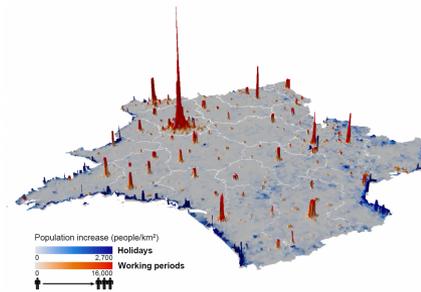
- Hypothèses liées au territoire
- Distributions de probabilité
 - $q_c, X_p^*, \mu_R^{nom}, p_{h,c}, p_{c,b}$
 - R -distribution

Gisement solaire

- SARA3-3 DNI

Population

- WorldPop 2020 1km (fixe)
- WorldPop 2007 100m (dynamique)



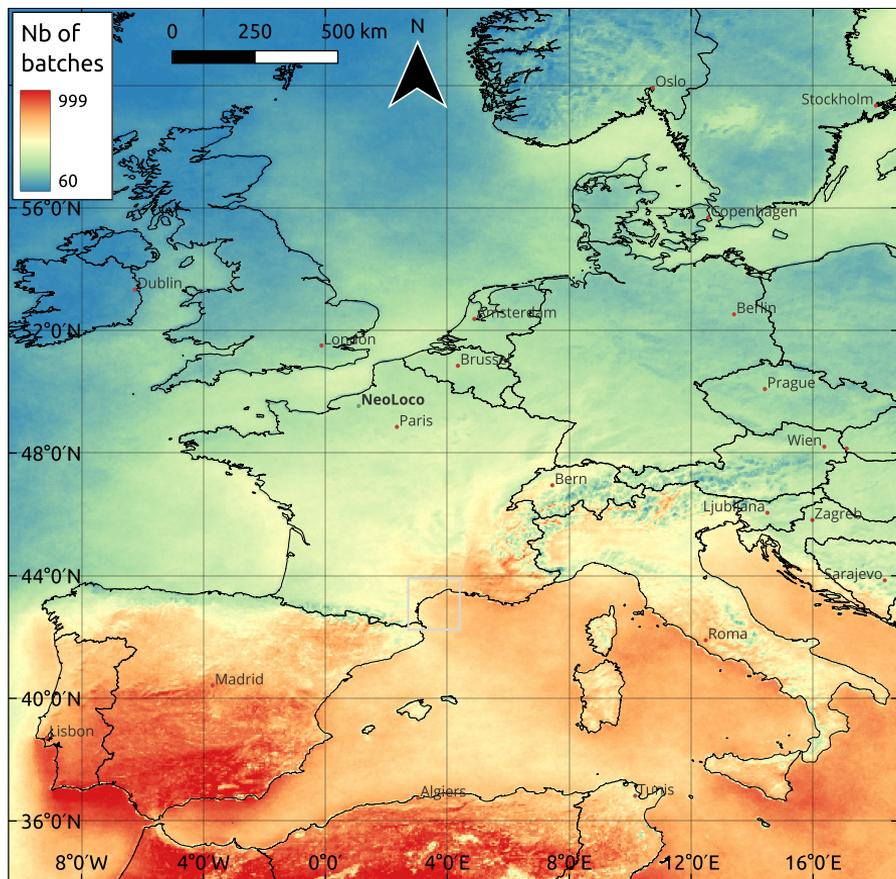
Pratiques alimentaires

- Hypothèses liées au territoire
- Distributions de probabilité
 - $q_c, X_p^*, \mu_R^{nom}, p_{h,c}, p_{c,b}$
 - R -distribution

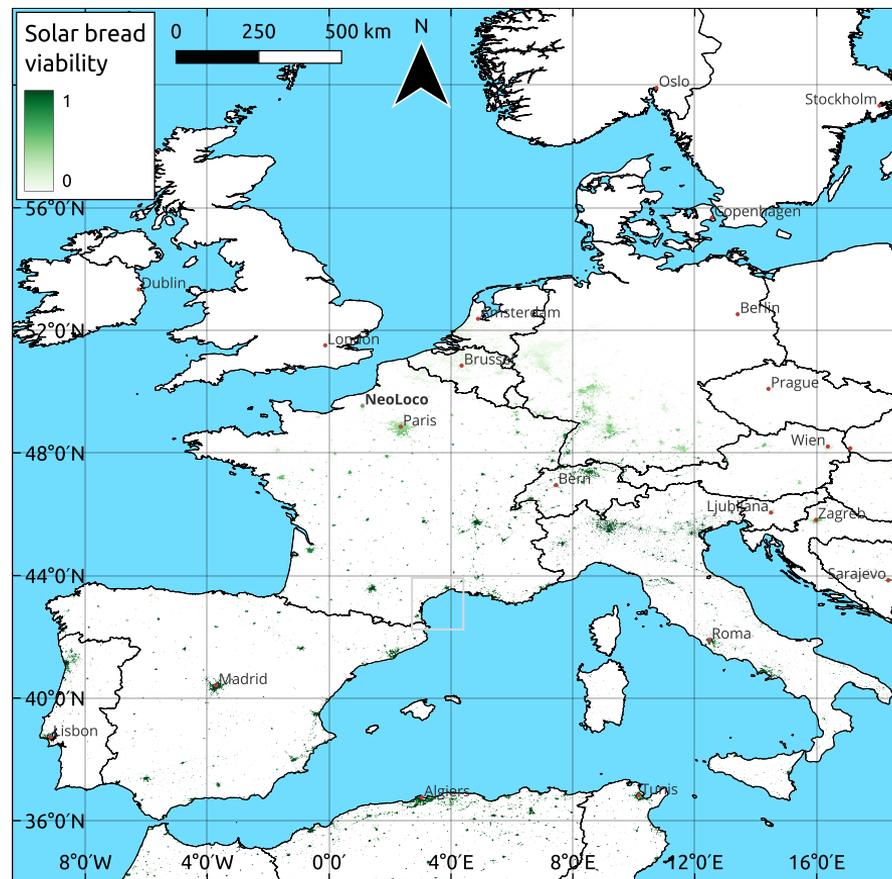
Four solaire

- Lytefire Deluxe Big Oven
 - 11 m²
 - préchauffe 2h, chauffe 1h
 - fournée 30-38 kg
- Modèle empirique *ad hoc*
 - DNI > 700 W/m²

Développer son activité de boulangerie solaire en Europe



Quantité annuelle de fournées

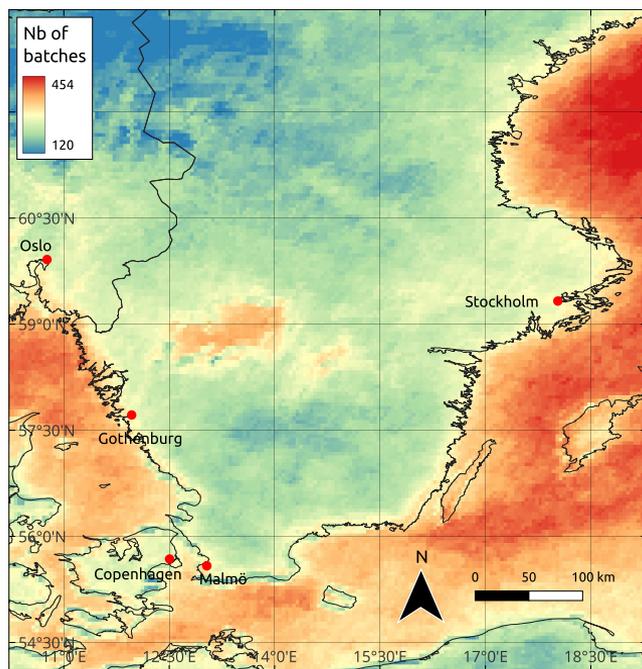


Viabilité du *pain solaire*

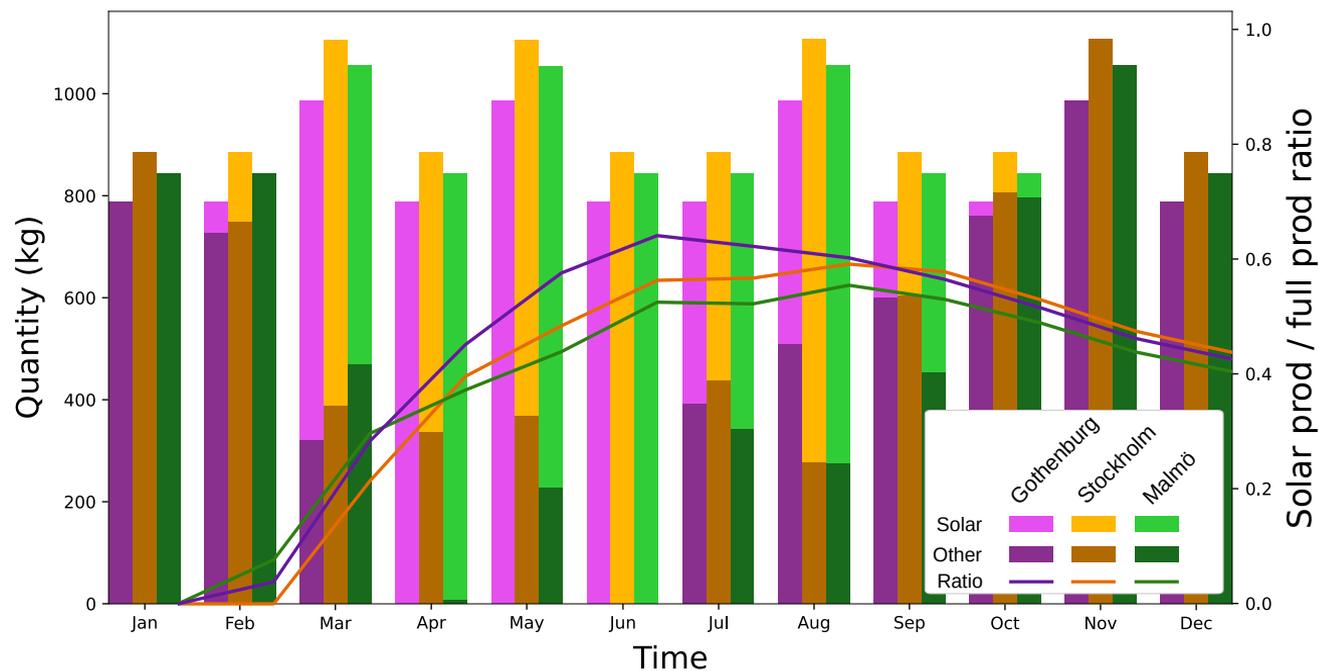
Storylines pour une transition durable : le cas Suédois

Scénario *once in a week* : l'approche de NeoLoco

Quantité annuelle de fournées

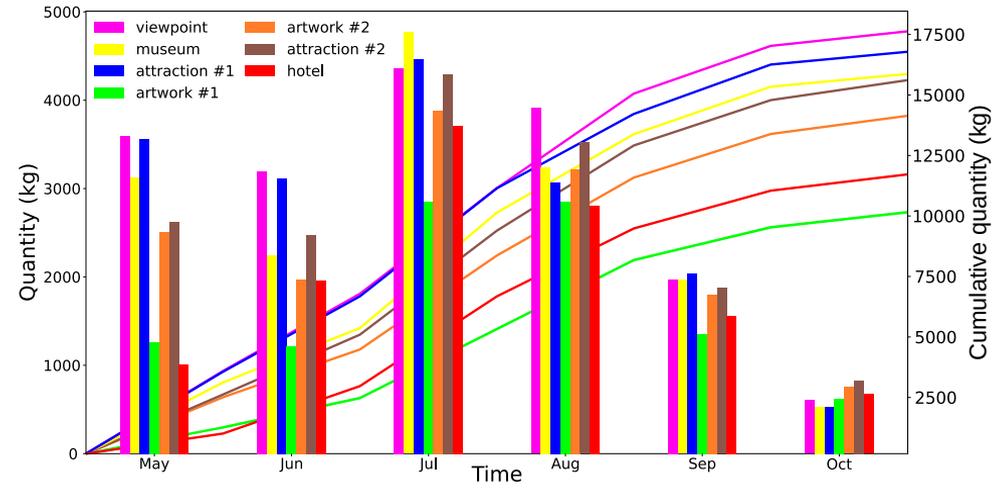
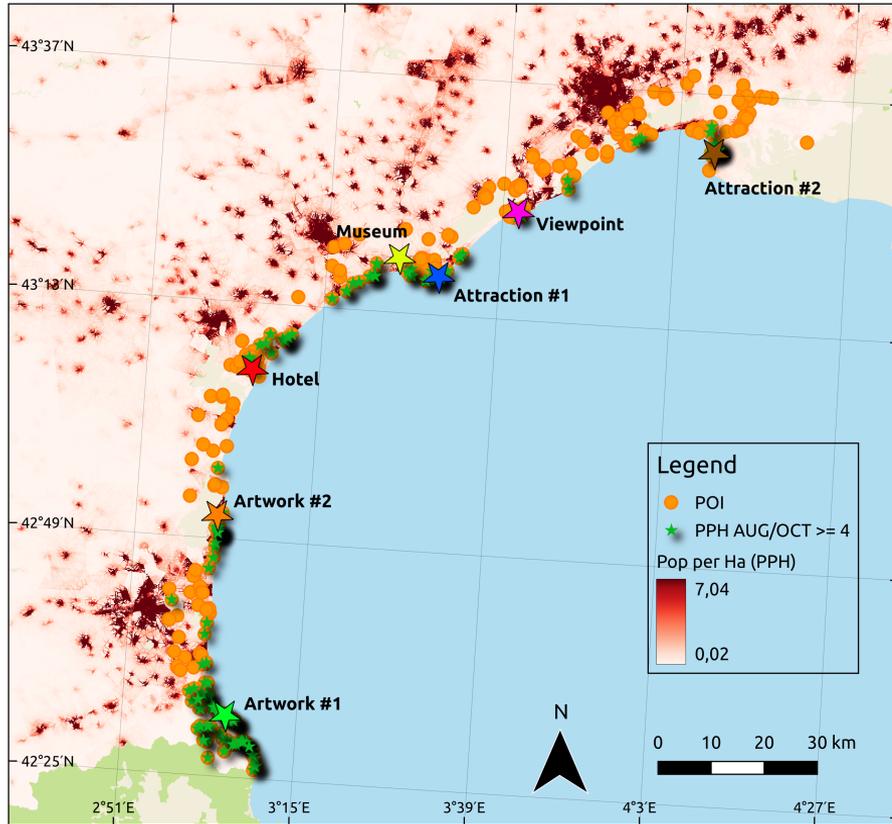


Rentabilité et hybridation solaire



Storylines pour une transition durable : production saisonnière

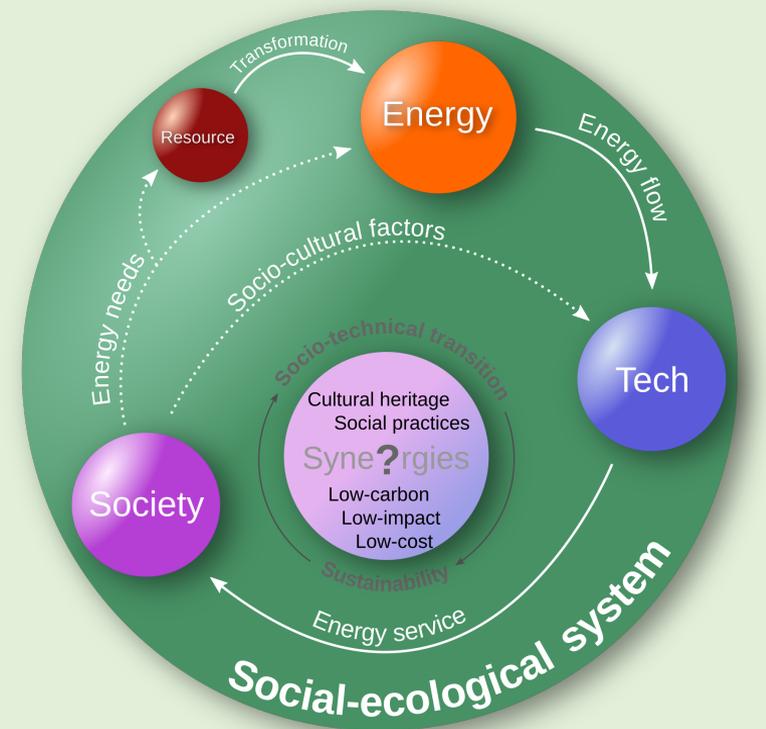
Tourisme en Occitanie ...



Rentabilité (kg pain produit consommé)

Conclusion

Le NEXUS énergie-technologie-société



Service énergétique



Cuisson solaire

Aménager l'activité

- Temporalité
- Type de production

Pratiques alimentaires

Adaptations sociétales

- Habitudes alimentaires
- Temporalité



Facteurs socio-culturels

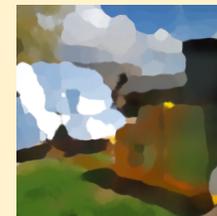
Perspectives de modélisation

- Intégration de nouveaux modèles de fours/outils/services solaires
- Nouveaux scénarios (de rupture, etc.)
- Accessibilité de la farine



Dépôt Open-Source

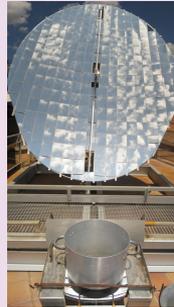
sbk



<https://framagit.org/espace-dev/sbktool>

Perspectives de modélisation

- Intégration de nouveaux modèles de fours/outils/services solaires
- Nouveaux scénarios (de rupture, etc.)
- Accessibilité de la farine



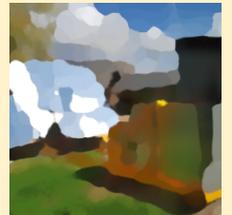
Next step : projets de **Sciences participatives**

- Besoin de tiers-lieux d'expérimentation partagée (living labs, etc.)
- Co-construction entre acteurs locaux
 - Artisans, ingénieurs, chercheurs, consommateurs, etc.



Dépôt Open-Source

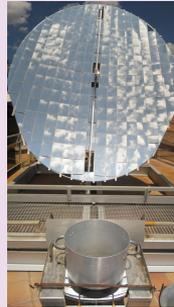
sbk



<https://framagit.org/espace-dev/sbktool>

Perspectives de modélisation

- Intégration de nouveaux modèles de fours/outils/services solaires
- Nouveaux scénarios (de rupture, etc.)
- Accessibilité de la farine



Mix et contre-modélisation...

Transition nrj = électrification
= centralisation

≠

- Intégration multi-échelles
- Tous vecteurs énergétiques

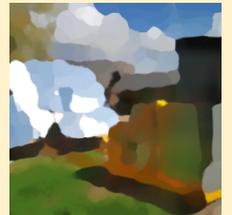
Next step : projets de **Sciences participatives**

- Besoin de tiers-lieux d'expérimentation partagée (living labs, etc.)
- Co-construction entre acteurs locaux
 - Artisans, ingénieurs, chercheurs, consommateurs, etc.



Dépôt Open-Source

sbk



<https://framagit.org/espace-dev/sbktool>

benjamin.pilot@ird.fr

MERCI !

guillaume.guimbretiere@univ-pau.fr