

Cuisson solaire directe

La cuisson solaire directe consiste à envoyer directement de la lumière solaire sur un aliment à faire cuire, contrairement aux méthodes où le flux solaire réchauffe d'abord un récipient contenant les aliments.

Dans le cas où les aliments sont placés dans un récipient, on se retrouve dans le cas d'une cuisson classique où la nature de la source de chaleur intervient très peu sur le résultat.

Dans le cas où les rayons lumineux sont envoyés directement sur les aliments, ici un poulet, la cuisson est tout à fait particulière et le résultat original.

Le but de cette note est d'expliquer qualitativement et quantitativement ce qui se passe.

Dans cette cuisson solaire directe, la peau du poulet joue un rôle important et déterminant par rapport à la cuisson au four ou sur la braise.

La cuisson traditionnelle au four (Corps Noir à 200°) ou au grill (CN à 800°) est basée sur les Infra-rouges centrés respectivement sur 6 et 3 μm (1). Ce type d'IR est arrêté par la peau (2). Cette peau s'échauffe rapidement à la température du four, ce qui provoque la réaction de Maillard (3) et donne un aspect grillé. La chaleur se propage par conduction jusqu'à l'intérieur du poulet et le cuit à cœur. Si la température est trop forte, la peau est abîmée et devient poreuse, laissant évaporer l'eau au détriment du moelleux du poulet. C'est pour cette raison que certains chefs proposent la cuisson à basse température (6) qui dure typiquement 2 fois plus de temps mais préserve le moelleux de la viande. Toutefois, dans ce cas la peau n'est pas vraiment grillée et ressemble à ce que l'on obtient en cuisson solaire directe.

Dans la cuisson solaire avec des paraboles en aluminium, la source est un CN à 6000K (1) dont le spectre est filtré par l'atmosphère (4) et réfléchi par un miroir en aluminium qui réfléchit bien jusqu'à la longueur d'onde de 5 μm (5) à partir de laquelle il reste très peu d'énergie solaire.

La Puissance optique incidente sur le poulet peut être estimée à 500 Watts (voir plus bas l'évaluation de la puissance incidente).

Pendant et après cuisson solaire on constate :

- En fin de cuisson la peau est juste « bronzée » et non pas grillée
- Malgré cette peau juste « bronzée » comme dans la cuisson basse température, le poulet est cuit à cœur en 1H30, comme dans un four classique.
- Cette peau reste étanche et garde à l'intérieur les fluides en ébullition (constat), ce qui donne une viande moelleuse.
- En fin de cuisson, le badigeonnage avec un roux (absorbant de l'énergie visible donc) permet de faire griller un peu mieux la peau et de se rapprocher en apparence de la cuisson au four.

Au niveau de cette peau (épiderme et derme) qui joue le rôle d'un sac étanche pour les fluides, on peut donc écrire la conservation de l'énergie pour chaque longueur d'onde.

$$P_{\text{incidente}} = P_{\text{Absorbée}} + P_{\text{Transmise}} + P_{\text{retrodiffusée}}$$

On n'a pas suffisamment de données pour procéder rigoureusement à l'intégration de l'énergie reçue par longueur d'onde, mais on peut faire un calcul approximatif par domaines spectraux.

Dans le visible (0.4 – 0.75 μm) qui est la partie du spectre solaire contenant à peu près la moitié de l'énergie solaire (250 W), on peut affirmer qu'il n'y a pas notablement d'absorption sinon la peau serait bien grillée.... C'est donc que le visible est majoritairement réfléchi et transmis. En considérant que la peau du poulet se comporte comme la peau humaine, les références (7) et (8) donnent une réflectivité de 50%. En conséquence, ce sont 125 Watts de lumière visible qui passent à travers la peau et sont très vite absorbés par les muscles et les os. Cette chaleur se transmet ensuite jusqu'au centre par conduction thermique.

Ce sont aussi 125 Watts de lumière visible qui sont rétrodiffusés. C'est tout à fait en ligne avec l'observation : En effet le poulet en train de cuire est très lumineux au point que l'on pense à vite mettre des lunettes de soleil pour l'observer...

Dans le proche IR, de 0.75 à 2 μm , la peau laisse bien passer les radiations jusqu'à des profondeurs de 5 mm vers 1.5 μm (9). L'énergie dans ce domaine spectral est de 40% (200 Watts). On va considérer que la transmission moyenne dans ce domaine est de 75%, ce qui donne une puissance de 150 Watts transmis.

Dans le domaine spectral $> 2 \mu\text{m}$ la peau bloque le rayonnement en surface, ce qui provoque un échauffement important. Mais comme ces radiations ne représentent que 5% de la puissance solaire incidente (25 W) et de plus dissipées en partie par l'air ambiant, elles ne sont pas capables de faire griller notablement la peau.

En conclusion, ce sont bien les radiations de 0.4 à 2 μm qui pénètrent sous la peau du poulet jusqu'à des profondeurs de 5 mm vers 1.5 μm . Ces radiations échauffent les tissus sous la peau et la chaleur se propage ensuite au cœur du poulet par conduction. Ce mode de cuisson préserve la peau qui reste étanche et se comporte comme un sac de cuisson.

Il reste à vérifier que l'énergie absorbée par le poulet est bien suffisante pour le faire cuire.

D'après ce que nous venons de voir, la partie de l'énergie rétro diffusée dans le visible (125 Watts) est perdue mais tout le reste contribue à chauffer le poulet (375 Watts).

Considérant un poulet de 2Kg dont les tissus contiennent 75 % d'eau, il faut réchauffer 1500 g d'eau de 20° à 100° (on néglige la capacité calorifique des tissus secs).

Temps ($T=20^\circ > T=100^\circ$) = $4.18 \times 80 \times 1500 / 375 = 1337 \text{ s}$

Au cours de la cuisson qui dure 1H30, 1/4 du temps est consacré à porter les fluides à ébullition et le reste du temps les fluides internes cuisent le poulet à une température proche de 100 °.

Evaluation de la puissance totale incidente :

Le poulet intercepte sa longueur (25 cm) de la ligne lumineuse au foyer des 3 paraboles de 1m de long. La surface de captation est donc de $3 \times 0.25 \times 1 = 0.75 \text{ m}^2$. A midi, en été, on reçoit au mieux 1000 Watts de radiations solaires. A midi, l'incidence solaire sur les paraboles est proche de 30° et la réflectivité de l'aluminium peut être estimée à 90%. Dans ces conditions, la puissance reçue par le poulet est $P_{\text{incidente}} = 0.75 \times 1000 \times \cos(30^\circ) \times 0.9 = 584 \text{ Watts}$ (500 Watts considérés)

Références

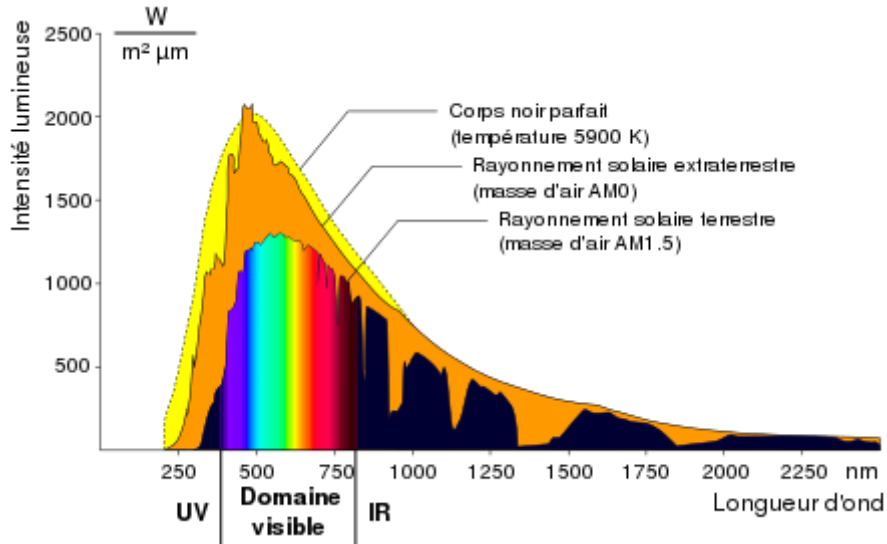
- (1) https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Planck
- (2) <https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/pdf/1978/01/radiopro19781301p11.pdf>
- (3) https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_de_Maillard
- (4) https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire
- (5) <https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9flectivit%C3%A9>
- (6) <https://www.cuisinebasetemperature.com/>
- (7) https://www.researchgate.net/figure/Spectres-de-reflexion-diffuse-de-la-peau-pour-differentes-personnes-p1-et-p2_fig16_38958630
- (8) https://en.wikipedia.org/wiki/Skin_reflectance
- (9) <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/matiere-chaleur-rayonnement-infrarouge-1780/>

Réflectivité aluminium : <https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9flectivit%C3%A9>

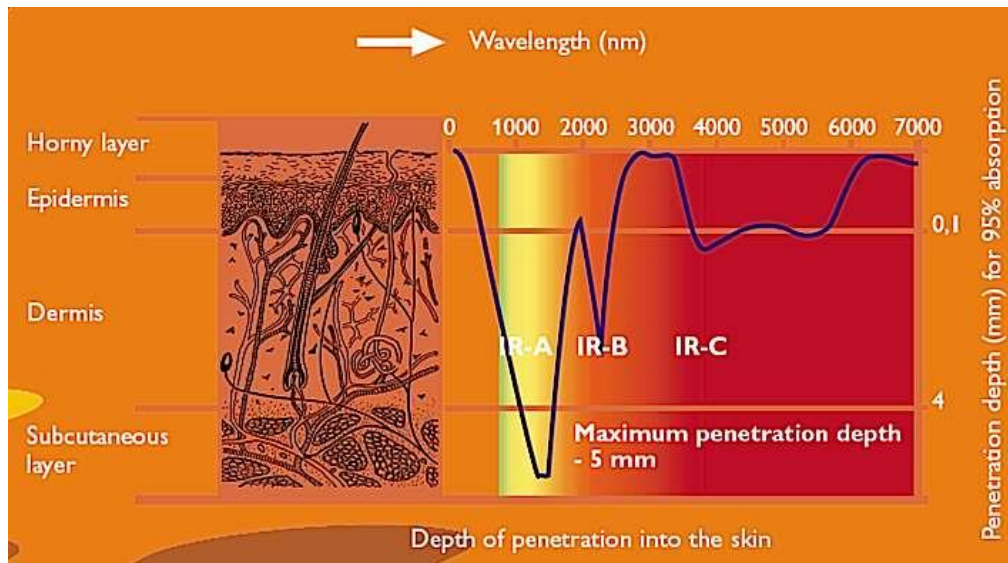
En particulier

$$P_{\text{incidente}} = P_{\text{Absorbée}} + P_{\text{Transmise}} + P_{\text{retrodiffusée}}$$

Spectre solaire (https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire)



<https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/matiere-chaleur-rayonnement-infrarouge-1780/>



Document plus sérieux qui confirme que la peau transmet bien à 1.5 μm

<https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/pdf/1978/01/radiopro19781301p11.pdf>

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00430428/document>

Réaction de maillard

https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_de_Maillard

Réflexivité de la peau dans le visible 50%

https://www.researchgate.net/figure/Spectres-de-reflexion-diffuse-de-la-peau-pour-differentes-personnes-p1-et-p2_fig16_38958630

https://en.wikipedia.org/wiki/Skin_reflectance

<https://www.officiel-prevention.com/dossier/protections-collectives-organisation-ergonomie/rayonnements/la-prevention-des-risques-professionnels-des-rayons-infrarouges>

Les types de rayonnements infrarouges se distinguent par leur longueur d'onde, et leur intensité.

On distingue trois types de rayons infrarouges qui divisent le domaine de l'infrarouge en rayonnements IRA « proche » (700-1400 nm), IRB « moyen » (1400-3000 nm) et IRC « lointain » (3000-10000 nm), au delà il s'agit de micro-ondes du domaine submillimétrique.

Les risques cutanés

Les IR sont moins dangereux pour la peau que les UV, car :

- d'une part, ils sont ressentis par le corps humain sous forme d'échauffement, avec élévation de la température des tissus exposés, avant que ne soit senti les effets des UV,
- d'autre part, les IR ont de bien plus grandes longueurs d'onde qui sont sans impact sur les structures cellulaires et ne provoquent donc pas de cancers.

Néanmoins, les rayons infrarouges pénètrent la peau, créent une vasodilatation et transmettent leur énergie calorifique aux tissus, en profondeur pour les infrarouges IRA courts (de l'ordre du centimètre de profondeur) et en surface pour les infrarouges IRB et IRC longs (de l'ordre du millimètre de profondeur).

C'est pourquoi les rayons IRB et IRC sont plus dangereux pour la peau, car toute l'énergie se concentre sur la surface cutanée, entraînant des brûlures.

Certains travailleurs ont des risques majorés de lésions cutanées à l'exposition aux infrarouges : ceux présentant des troubles circulatoires ont des risques de brûlure augmentés car leur système vasculaire n'arrive pas à bien dissiper la chaleur.