



**HAL**  
open science

## L'impression 3D appliquée à l'alimentaire

Stéphane Portanguen, Pascal Tournayre, Thomas Brunel, Mona Fortune,  
Pierre-Sylvain Mirade

► **To cite this version:**

Stéphane Portanguen, Pascal Tournayre, Thomas Brunel, Mona Fortune, Pierre-Sylvain Mirade. L'impression 3D appliquée à l'alimentaire. 16emes Journées de la Mesure et de la Métrologie, Oct 2021, Ardes sur Couze (63), France. hal-03408382

**HAL Id: hal-03408382**

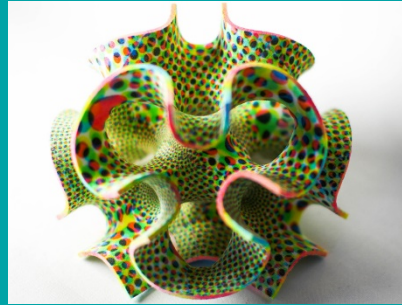
**<https://hal.inrae.fr/hal-03408382>**

Submitted on 29 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INRAE



# L'IMPRESSION 3D APPLIQUEE A L'ALIMENTAIRE

S. Portanguen<sup>1</sup>, P. Tournayre<sup>1</sup>, T. Brunel<sup>2</sup>, M. Fortune<sup>3</sup> & P.S. Mirade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRAE, UR Qualité des Produits Animaux

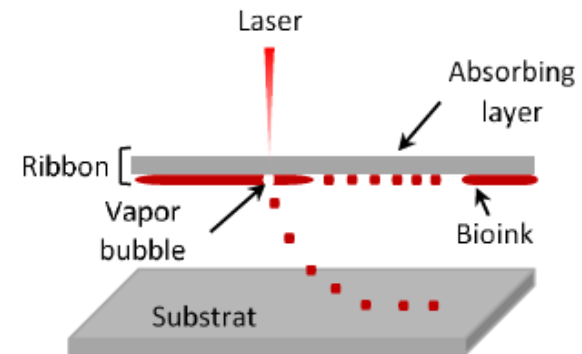
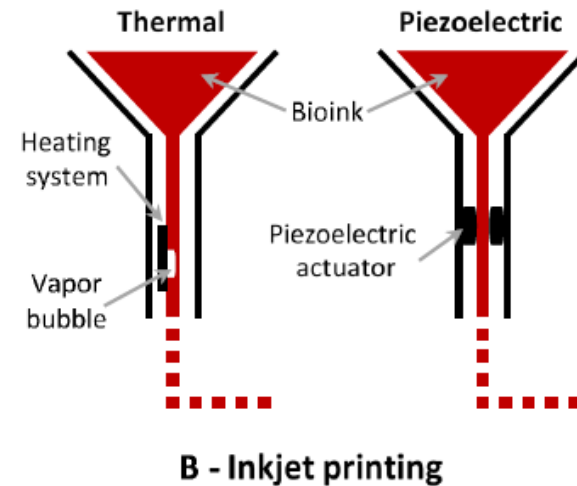
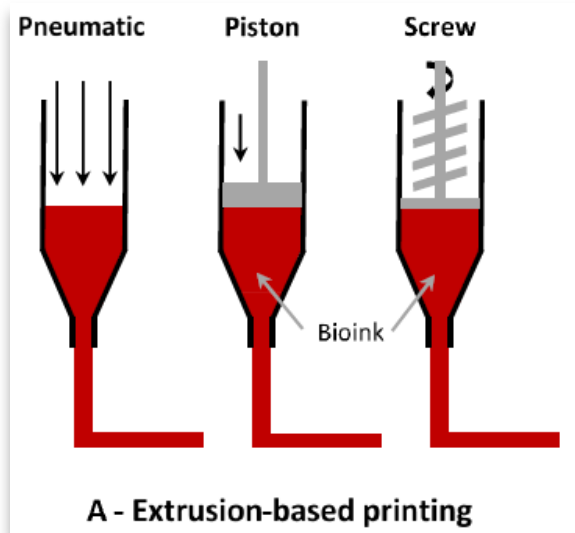
<sup>1</sup>Université de Technologie de Compiègne (étudiant 4<sup>ème</sup> année ingénieur)

<sup>1</sup>Université Clermont-Auvergne (étudiante Master 1 microbiologie)

**Un procédé de rupture pour la personnalisation de l'alimentation de populations spécifiques**

# ➤ C'est quoi l'impression 3D alimentaire ? (1/2)

## Les différentes méthodes d'extrusion/dépôt existantes



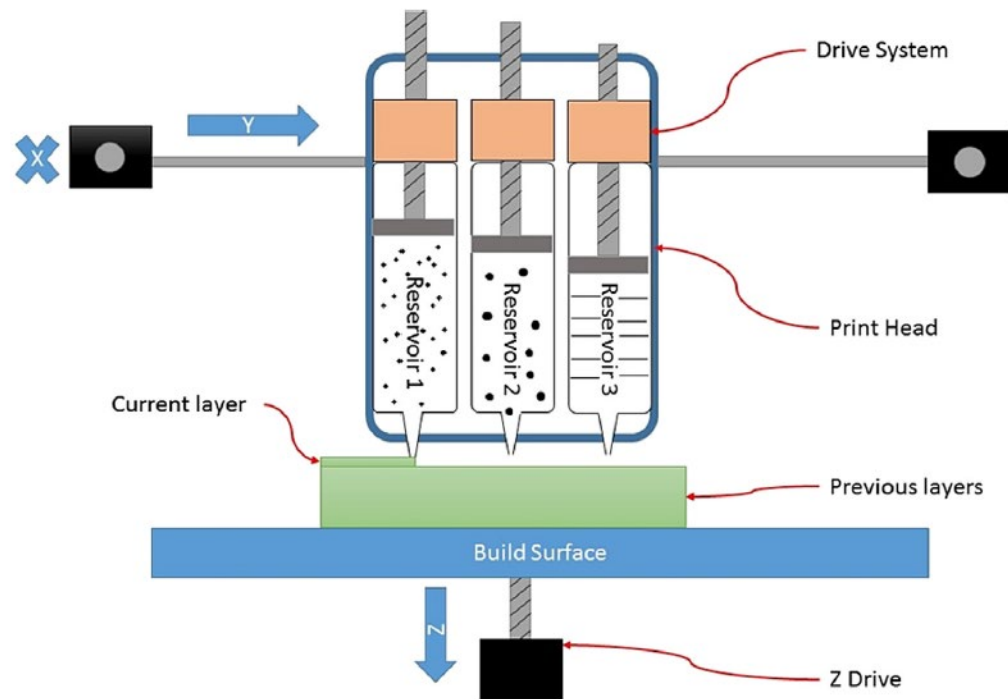
D'après Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., & Mirade, P.-S. (2019). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 188-198.



## ➤ C'est quoi l'impression 3D alimentaire ? (2/2)

*C'est le même principe qu'une imprimante 3D classique mais le filament est remplacé par un matériau semi-solide.*

- 1) Géométrie prédéfinie numériquement
- 2) Dépôt de couches : de 0,2 à 4 mm d'épaisseur ( $\varnothing$  de buse jusqu'à 4mm)

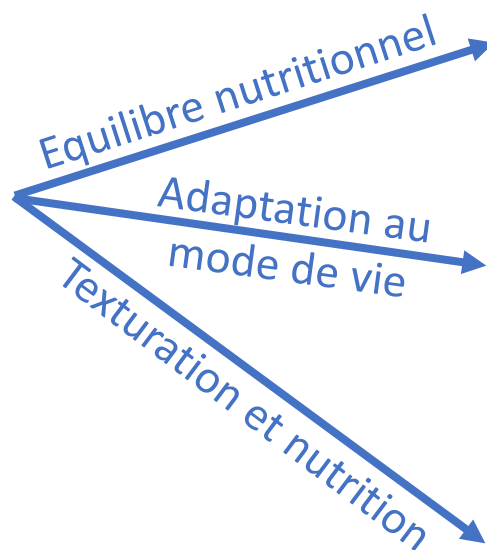


# ➤ Les applications de l'impression 3D alimentaire

Design culinaire,  
évènementiel



**Conception d'aliments à  
fonctionnalités ciblées et  
personnalisation de  
l'alimentation**



Populations spécifiques



**INRAE**

16<sup>èmes</sup> J2M, Ardes-sur-Couze  
4-7 Octobre 2021

# ➤ Les imprimantes 3D alimentaires à QuaPA (1/3)

## **Modèle commercial :**

*Pour les particuliers ou pour le développement rapide d'aliments*



Teneur  
contrôlée  
nutriments



*Exemple de la « Foodini » utilisée dans notre labo*

## **Avantages**

Recettes pré-programmées

Accès à certains paramètres

Nettoyage facilité

Permet de contrôler l'apport en nutriments

## **Inconvénients**

Difficile de créer de nouvelles formes

Régulation de T° peu performante

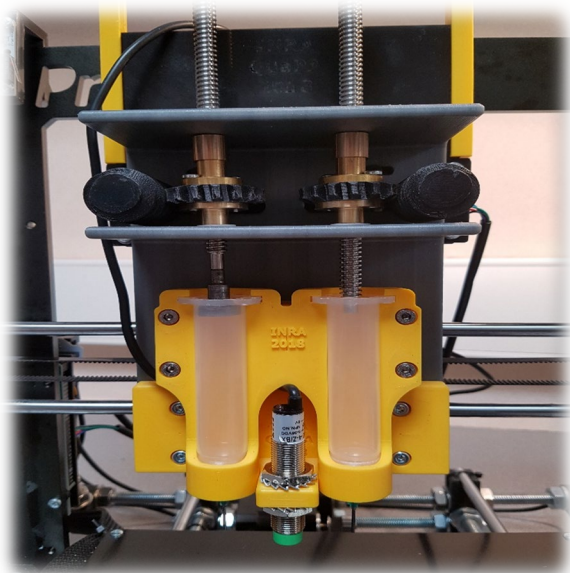
Pas de post-traitement intégré

Coût élevé

# ➤ Les imprimantes 3D alimentaires à QuaPA (2/3)

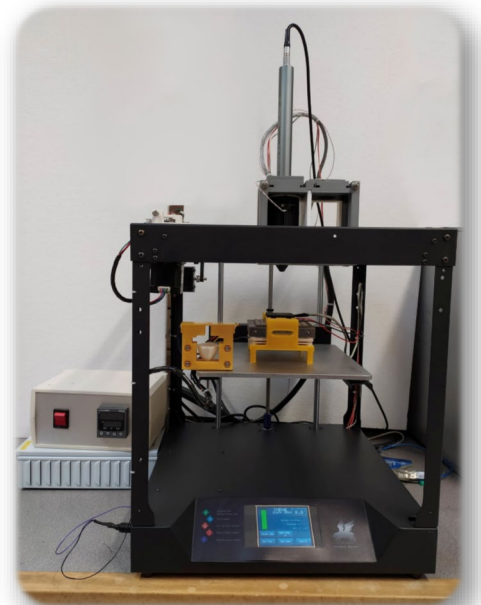
*Modèles développés au laboratoire : pour la maîtrise fine des paramètres d'impression*

**1<sup>er</sup> prototype : base Prusa i3**



- Pas de contrôle de T° tête/plateau
- Peu ergonomique
- Déplacements limités

**2<sup>nd</sup> prototype : base Flying Bear Ghost**



Cf. présentation de Pascal Tournayre



# ➤ Les imprimantes 3D alimentaires à QuaPA (3/3)

## Etude d'un milieu modèle à base de gel de gélatine

Importance de l'optimisation des paramètres d'impression et des propriétés du gel



Paramètre \ Gel	1	2	3	4	5
Buse (Ø mm)	1,55	1,19	1,19	1,19	1,19
Ep. couche (mm)	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3
V impression (mm.s <sup>-1</sup> )	40	40	40	20	10

Gels non glyqués

GLYCATION

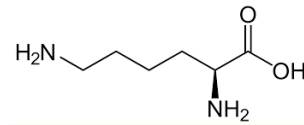
Gels glyqués



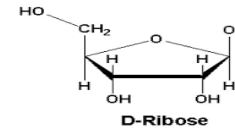
Paramètre \ Gel	1	2
Débit (cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,005	0,004
Vitesse d'impression (mm.s <sup>-1</sup> )	40	30



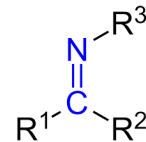
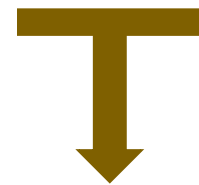
# ➤ La glycation, une opportunité pour texturer des matrices protéiques



**Groupe amine libre  
(lysine/arginine)**



**Groupe aldéhyde sucre réducteur**



**Base de Schiff**

**INSTABLE**

↕ Réversible

**Réarrangement d'Amadori**

**STABLE**

↓ Irréversible

**Produits de glycation avancés**

Isomérisation

Oxydation

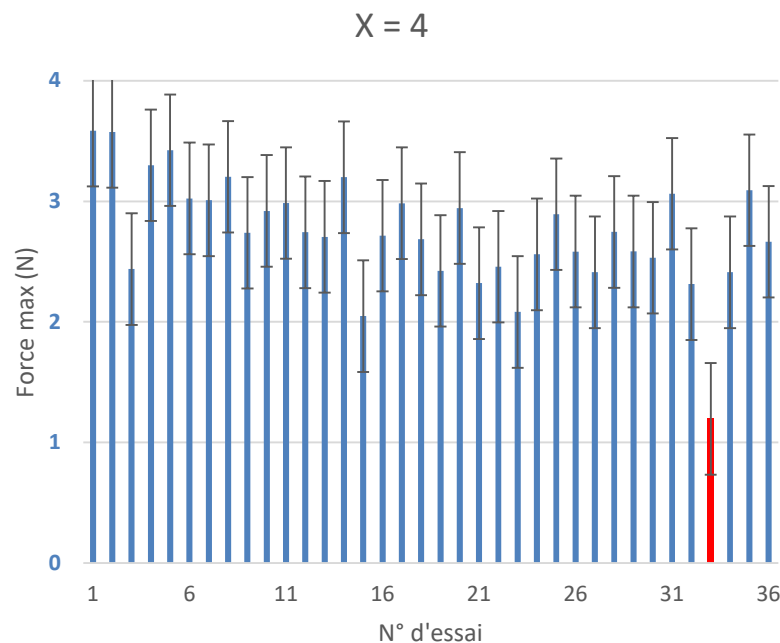
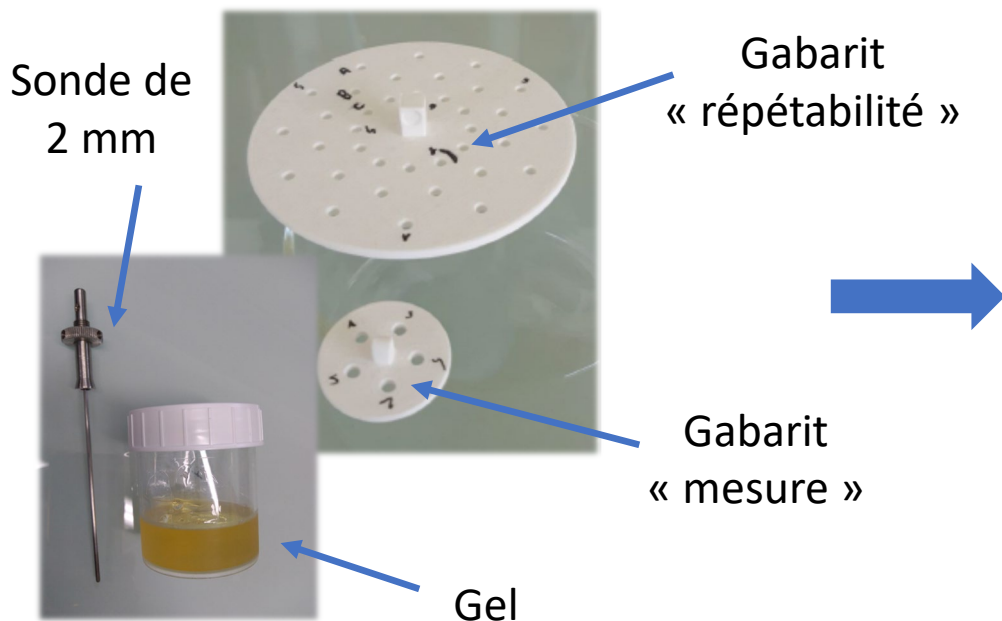
## Les facteurs qui influencent la réaction :

- La température
- Le temps de réaction
- Le pH
- La teneur en eau
- Le type de protéines
- La concentration en sucre
- ...

# ➤ Exemple d'impression 3D alimentaire : texturer un aliment pour les personnes âgées (1/4)

*Evaluer l'effet d'une réaction biochimique (glycation) sur la texture d'un gel.*

Mise au point d'outil de mesure de la texture : tests de pénétrométrie



**Forces mesurées faibles :  
limite de détection du  
capteur**

# ➤ Exemple d'impression 3D alimentaire : texturer un aliment pour les personnes âgées (2/4)

***Evaluer l'effet d'une réaction biochimique (glycation) sur la texture d'un gel.***

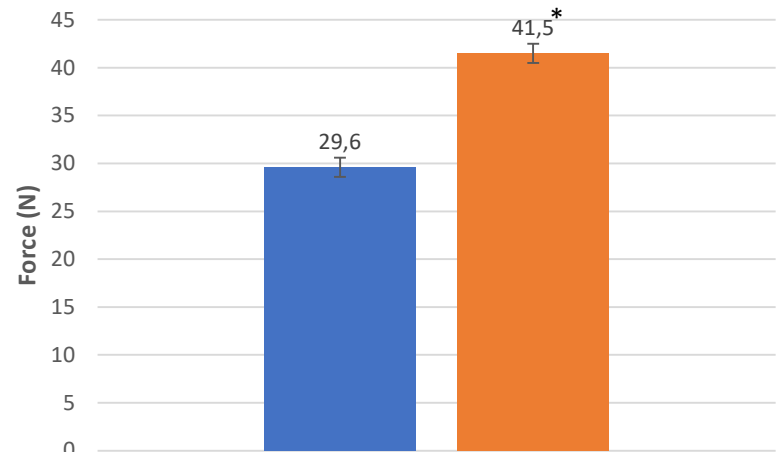


Texture Profil Analysis (TPA) : simulation de la mastication



Double compression d'un cylindre de gel (20x10mm) :

- Sonde Ø 50 mm
- V = 20 mm/min
- Détection surface à 0,5 N



Comparaison de la fermeté des gels glyqués et non glyqués (pH9)

Test de Wilcoxon : significativité entre les 2 conditions...

**Meilleure  
discrimination entre  
gel témoin et glyqué**

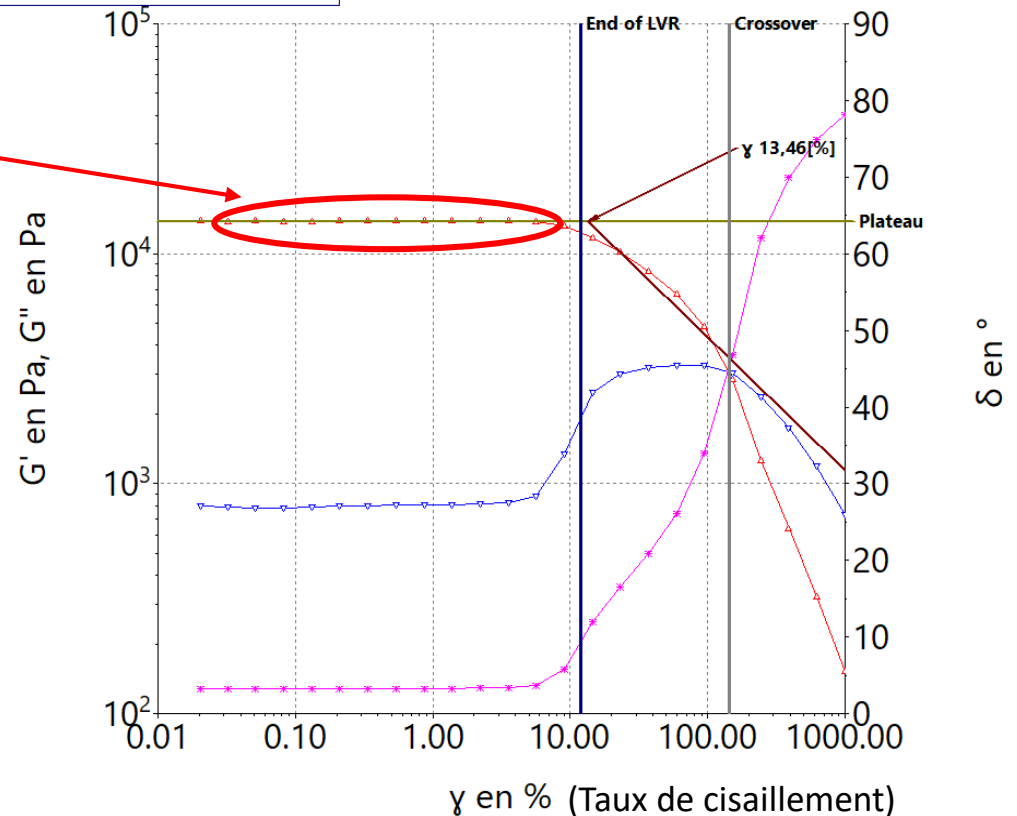
# ➤ Exemple d'impression 3D alimentaire : texturer un aliment pour les personnes âgées (3/4)

## Caractérisation rhéologique des matrices imprimables

- gel très structuré (rigidité de l'ordre de 14000 Pa)
- Permet une corrélation avec le test Bloom (mesure de texture)
- La longueur du domaine linéaire informe sur sa fragilité, plus il supporte les grandes déformations et moins sa structure est fragile.

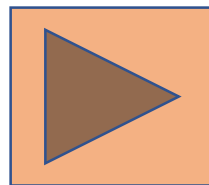
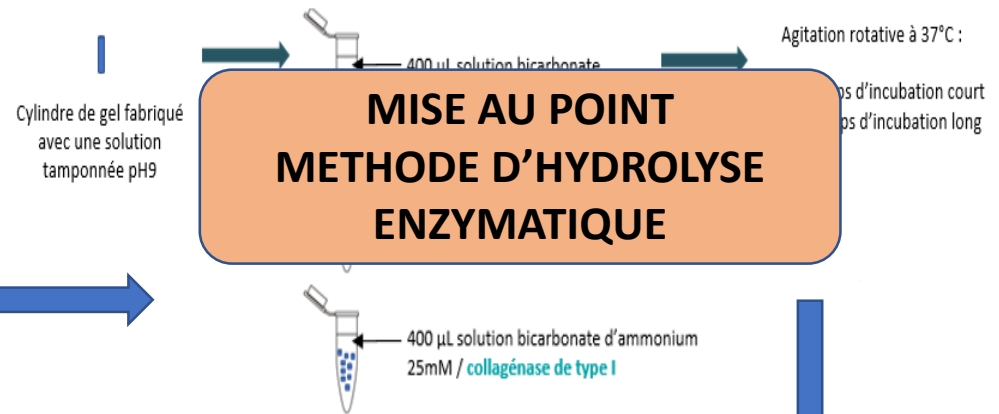
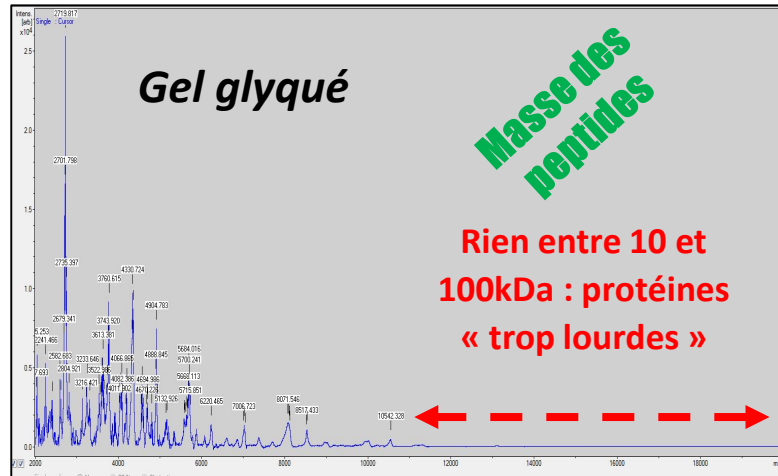
Gel - OSC AS 0.01-1000% - 2

— G' = f( $\dot{\gamma}$ )  
— G'' = f( $\dot{\gamma}$ )  
—  $\delta$  = f( $\dot{\gamma}$ )



# ➤ Exemple d'impression 3D alimentaire : texturer un aliment pour les personnes âgées (4/4)

Etude de réactions complémentaires pour la texturation : **approche protéomique.**



**Séquence des peptides**



**Orbitrap MS**



# ➤ Exemple d'impression 3D alimentaire : texturer un aliment pour les personnes âgées (4/4)

Collagène de type I

Ribose fixé sur résidus S et T

Ribose non fixé sur résidus K et R

Coverage	Peptides	Denovo Only Tags
>tr A0A287A156 A0A287A156_PIG Collagen alpha-1(I) chain preproprotein OS=Sus scrofa OX=9823 GN=COL1A1 PE=1 SV=1		
1	MFSFVDLRL LLLAATALLT HGQEEGQEEG QQQEEEDIPP VTCVQNGLR Y HDRDVWKFVP CQICVCDNGN VLCDDVICDE	
81	IKNCPSARVP AGECCPVCPE GEVSPTDQET TGVEGPKGDT GPRGPRGPGS PPRRDGIPGQ PGLPGPPGPP GPPGPPGLGG	
161	NFAPQLSYGY DEK SAGISVP GMPGSPGPRG LPGPPGAPG QGFQGGPGEF GEPGASGPMG PRGPPGPPGK NGDDGEAGKP	177, 180, 182, 183, 192, 198, 210, 213, 225, 231
241	GRPGERGPPG PQGARGLPGT AGLPGMKGHR GFSGLDGAKG DAGPAGPKGE PSSPGENGAP GQMGPRGLPG ERGRGPPGPP	249, 258, 264, 266, 267, 291, 292, 294, 297, 300, 303, 315, 317, 318
321	AGARGNDGAT GAAGPPGPTG PAGPPGPPGA VGAKGEAGPQ GARGSEGPPQ VRGEPGPPG AGAAGPAGNP GADGQPPGPK	329, 331, 338, 345, 349, 354, 375, 377, 380, 390, 396
401	ANGAPGIAGA PGFPGARGPS GPQGPSGPPG PKNSSEPGA PGSKGDTGAK GEPGPTGVQG PPGPAGEEGK RGARGEPPGA	402, 405, 411, 414, 419, 425, 429, 431, 453, 459, 462, 477
481	GLPGPGERG GPGSRGPPGA DGVAGPKLPA GERGSPGPAK PKGSPGEAGR PGEAGLPGAK GLTGSPPGSP PDGKTGPPG	483, 486, 496, 510, 516, 525, 531, 537, 558
561	AGQDGRGPPG GPPGARQAG VMGFPPGKGA AGEPPKAGER GVPGPPGAVG PAKHGEAGA QGPPGAPGA GERGEQPPAG	567, 578, 582, 585, 603, 606, 621, 693, 717, 720
641	SPGFQGLPGF AGPPGEAKK GEQGVPGDLG APGPSARGE RGFPPGERGVQ GPPGAPGPRG ANGAPNDGA KGDAGAPGAP	729, 731, 741, 773, 774, 778, 780, 783, 786
721	GSQGAPLQG MPGERGAAGL PGPKGDRGDA GPKGADGAPG KDGVRGLTGP IGPPGAPGAP GDKGTPSPG PAGPTGARGA	807, 810, 819, 824, 843, 852, 861, 868, 872, 873, 879
801	PGDRGEPGPP GPAGFAGPPG ADGQPGAKGE PGDAGAKGDA GPPGAPGPTG PPGPIGSVGA PGPKGARGSA GPPGATGPPG	867, 88, 893, 897, 900, 921, 927, 930, 948, 961
881	AAGRVPGPPG SENAGPPGPP GPAGKEGSKG PRGETGPAGR PGEAGPPGPP GPAGEKSPG ADGPAGAPGT PGPQGIAGDR	900, 906, 975, 978, 98, 999, 1001, 102, 1005, 1011, 1020, 1028
961	GVVGLPGQRG ERGFPLPGF SEPEPKQGPS GPSGERGPPG PMGPPGLAGP PGESGREGAP GAEGSPFRIG APGPKGARGE	1047, 1050, 1053, 1056, 1076, 1122, 1125, 1128, 1149, 1152, 1158, 1161, 1168
1041	SGPAGPPGAP GAPGAPGVP PAKKSGRSE TSPAGPAGPV GPVGAEPGAP PQGPRGDKGE TGEQGDRGIK GHRGFSGLQG	
1121	PPGPPGSPGE QGSPGASGPA GPRGPPSAG APKDGDLNGL PGPIGPPGPR GRTGDAGPVG PPGPPGPPG PGPSPGGFDF	
1201	SFLPQPPQEK AHDGGRYRA DDANVVRDRD LEVDTTLKSL SQQIENIRSP EGSRKNPART CRDLKMCHSD WKSGEYWIDP	
1281	NQGCNLDAIK VFCNMETGET CVYPTQPSVP QKNWYISKNP KDKRHVWYGE SMTDGPFQFEY GEGSDPADV AIQLTFLRLM	
1361	STEASQNITY HCKNSVAYMD QQTGNLKKAL LLQGSNEIEI RAEGNSRFTY SVIYDGCTSH TGAWGKTIVIE YKTTKTSRLP	
1441	IIDVAPLDVG APDQEFIDIL SPVCFL	

Modification par ajout de riboses (pentose)



Hvdrolvse Gélatine dar la Trvdsine

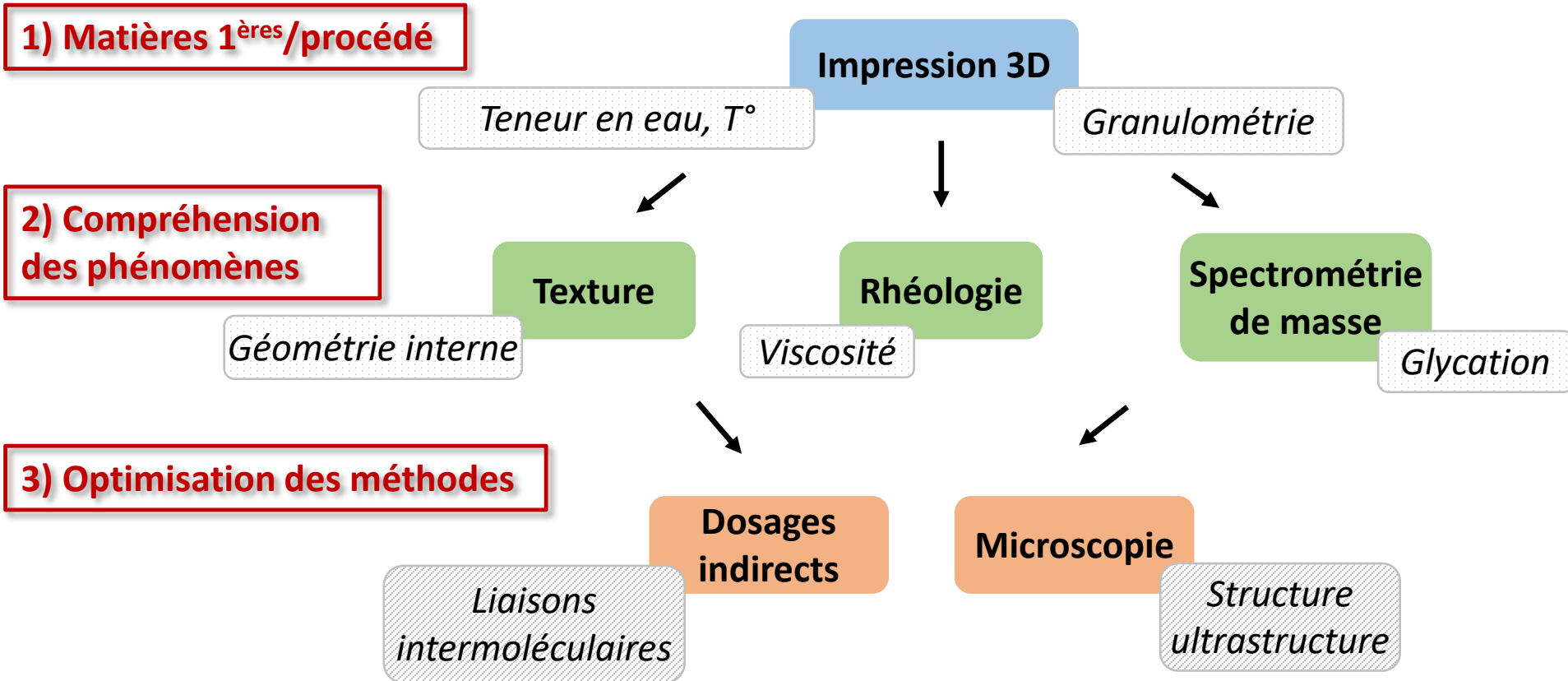


# > Conclusion

Facteurs  
influent

Evaluation  
de l'effet

## Caractérisation d'une nouvelle méthode de conception d'aliments par différentes approches



INRAE

16<sup>èmes</sup> J2M, Ardes-sur-Couze  
4-7 Octobre 2021

## > Perspectives

### **Perspectives « méthodes » :**

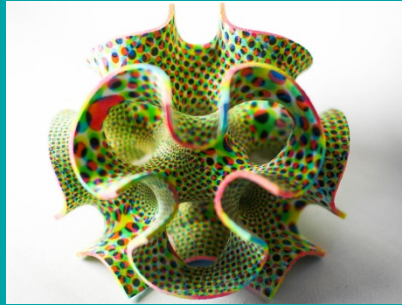
- ❑ Mise au point de méthodes alternatives de suivi de la glycation (dosage des sucres après dialyse, suivi de la coloration)
- ❑ Influence de la glycation sur les changements structuraux des gels par microscopie électronique

### **Perspectives « projet » :**

- ❑ Effet du mode de texturation sur la digestibilité des protéines
- ❑ Aspects sanitaires (chimiques et microbiologiques)



INRAE



MERCI DE VOTRE ATTENTION...