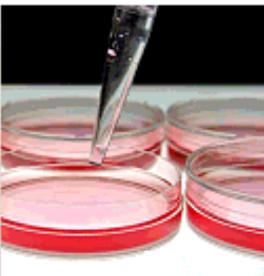


Procédés pour améliorer la bioaccessibilité des nutriments

Catherine Renard

UMR408 Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale,
Avignon



© fotolia.com

- Introduction
- Qu'est-ce qui peut limiter la bioaccessibilité?
 - Tissus et produits végétaux
 - Effets de la matrice
- Modes d'action et effets des procédés
 - Cuisson et broyage
 - Hautes pressions hydrostatiques
 - Champs électriques pulsés
 - Ultrasons

- La demande initiale: de nouveaux procédés pour améliorer la bioaccessibilité des nutriments
 - Très peu de données sur les procédés nouveaux (HPP, PEF...)
 - HPP x Bioaccess 26 refs, PEF x Bioaccess 2 refs
 - Et ils améliorent moins la bioaccessibilité que le traitement thermique “old-fashioned”
- Pourquoi les procédés peuvent améliorer la bioaccessibilité?
 - Les limites physico-chimiques à la bioaccessibilité
 - Les effets des procédés
- Bioaccessibilité des nutriments
 - Deux exemples principaux, caroténoïdes et polyphénols
 - Dans les aliments végétaux

Les facteurs de la bioaccessibilité

- Biodisponibilité:
 - la fraction de cette molécule, ou de l'un de ses métabolites, qui arrive au niveau de son tissu cible, c'est-à-dire le tissu où elle va exercer une fonction biologique, après avoir été ingérée.
- Bioaccessibilité
 - la fraction de cette molécule, ou de l'un de ses dérivés, qui est libérée dans le lumen et arrive à l'épithélium intestinal où elle peut être absorbée
- Existence d'un manque de connaissance
 - Beaucoup de données sur les molécules isolées, peu de connaissances sur la bioaccessibilité à partir des aliments

SLAMENGGHI et les procédés

- S pour espèce moléculaire (Species) ;
- L pour estérification ou conjugaison de la molécule (molecular linkage) ;
- A pour quantité dans le repas (Amount consumed in a meal)
- M pour effet de la matrice alimentaire (Matrix) ;
- E pour autres molécules modulant l'absorption : lipides, fibres, médicaments (Effectors of absorption) ;
- N pour statut de l'individu (Nutrient status of the host) ;
- G pour facteurs génétiques (Genetic factors) ;
- H pour facteurs liés à l'individu: âge, sexe (Host-related factors) ;
- I pour interactions entre tous ces facteurs (mathematical Interactions).

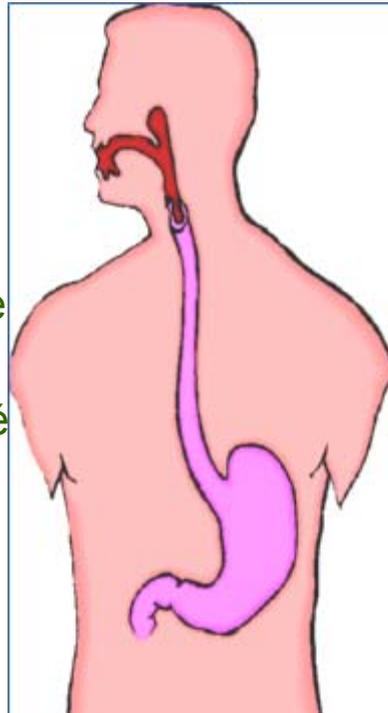
Bioaccessibilité et procédés

- Procédés de transformation

- Effet des différentes technologies dont procédés physiques / mécaniques, thermiques / athermiques
- Déstructuration des tissus végétaux / de la matrice alimentaire
- Libération des microconstituants liés, augmentation de l'extractabilité
- inactivation des enzymes

- Matrice alimentaire

- Interactions en mélanges complexes
- Stabilisation et protection mutuelle des composants
- Facilitation de la micellarisation
- Modulateurs de la digestion



- Digestion gastrique

- Phénomènes de solubilisation
- Formation des gouttelettes lipidiques?

- Dans l'intestin grêle

- Solubilisation / micellarisation?
- Viscosité?

- Dans le colon

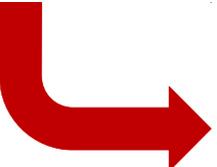
- Métabolisation: quels mécanismes? Quelles interactions (fibres)?

Que permettent les procédés?

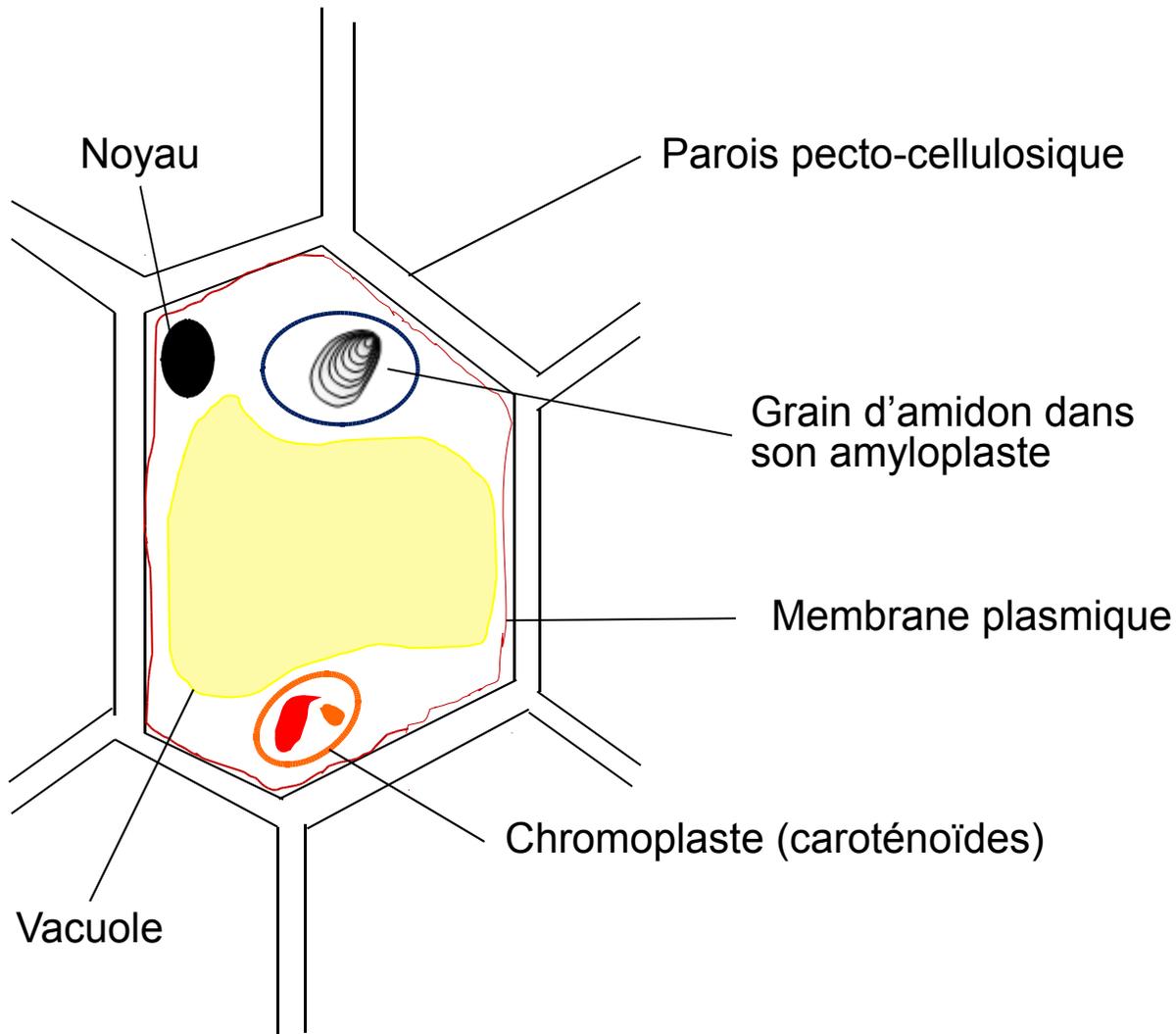
- De moduler l'effet de la matrice
 - Empêcher (ou non) la diffusion du nutriment
 - Permettre une mise en solution / émulsion / micellarisation
 - Permettre une encapsulation
- De changer les « effecteurs »
 - Par la recette, présence de molécules permettant la dissolution ou captant les nutriments
- De changer les propriétés de la molécule
 - Etat physique (cristallin / dissous, formation de complexes)
 - Stabilité ou production de dérivés
 - Solubilité et interactions dans le liquide intestinal

- Introduction
- Qu'est-ce qui peut limiter la bioaccessibilité?
 - Tissus et produits végétaux
 - Effets de la matrice
- Modes d'action et effets des procédés
 - Cuisson et broyage
 - Hautes pressions hydrostatiques
 - Champs électriques pulsés
 - Ultrasons

Le tissu végétal, barrière à la bioaccessibilité

- La paroi végétale
 - Entoure les cellules végétales
 - Est hydrophile, composée essentiellement de polysides
 - Est une fibre donc non digérée jusqu'au colon
-  Encapsulation des nutriments lipidiques
- La cellule végétale
 - Compartimentation intracellulaire: membranes
 - Concentration des nutriments dans des organelles

Dans la cellule végétale



Constituées essentiellement de fibres, elles traversent quasi intactes le TD haut.

Leur porosité limitée et la viscosité induite par les fibres solubles ralentit la diffusion.

Hydrophiles, elles emprisonnent les lipides

L'amidon natif et cristallin est résistant

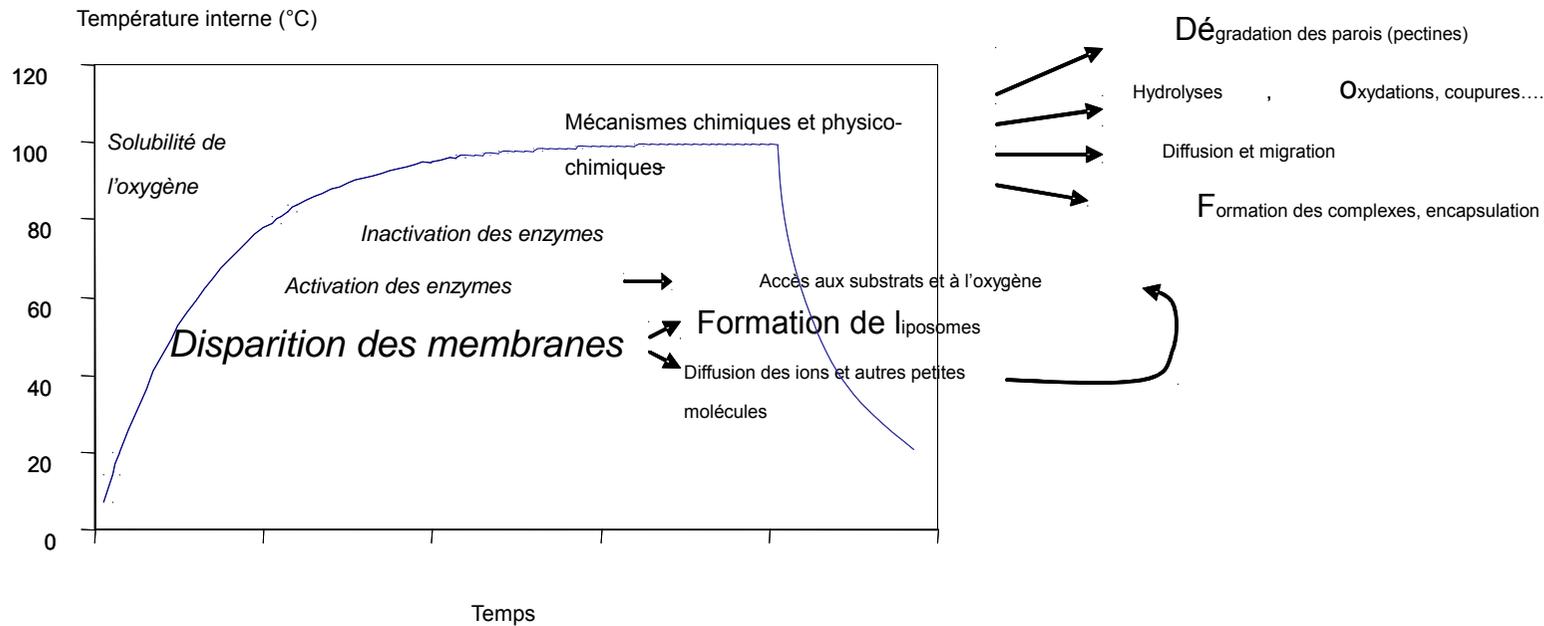
Le transport des solutés est contrôlé;

Les enzymes ne peuvent pas traverser les membranes

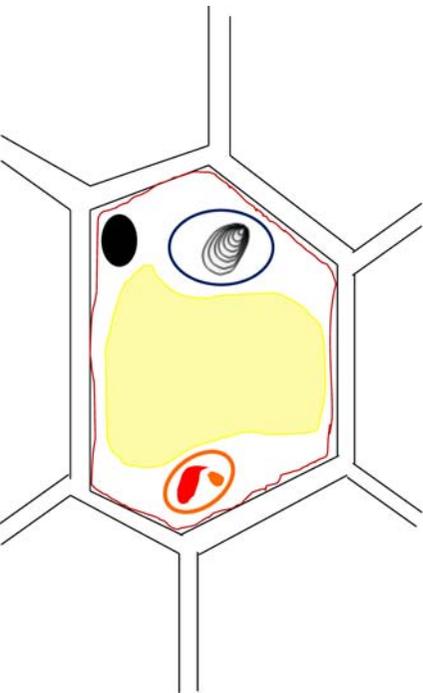
Les gouttelettes lipidiques ne peuvent pas traverser les parois

Les caroténoïdes peuvent être sous des formes cristallines ou complexées

Quels mécanismes lors des traitements thermiques?



Quels effets des traitements thermiques?

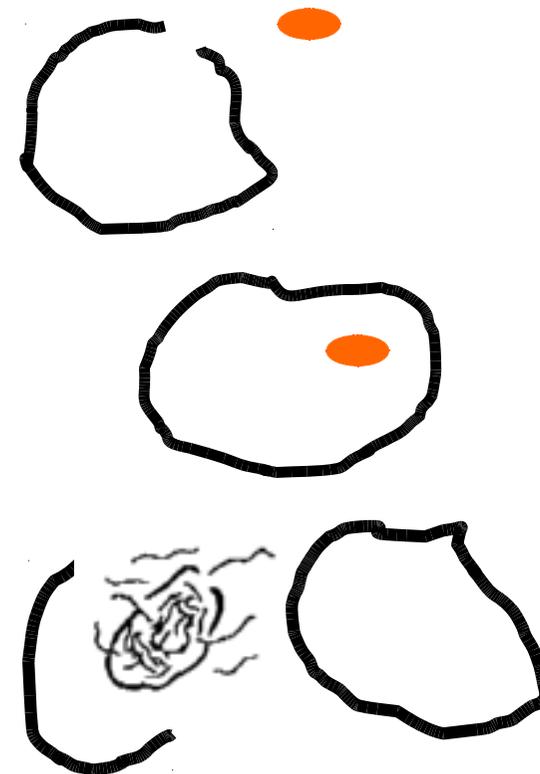


Les membranes sont déstructurées
Les molécules hydrosolubles migrent
Les parois sont fragilisées
L'amidon est (+/-) gélatinisé
Les protéines sont dénaturées
Les cellules peuvent se séparer voir s'ouvrir
Augmentation des bioaccessibilités

Mais:



Il se forme des complexes polyphénols / parois
ou polyphénols / protéines
Diminution de certaines concentrations:
Dégradations de diverses molécules,
Composés néoformés



La cuisson, un facteur de notre évolution?

- Amélioration de la digestibilité
 - Les aliments cuits libèrent plus d'énergie
 - **crudivorisme**
 - Gélatinisation de l'amidon
 - Digestion facilitée des protéines
 - **Protéines d'œuf (50% vs > 90%)**

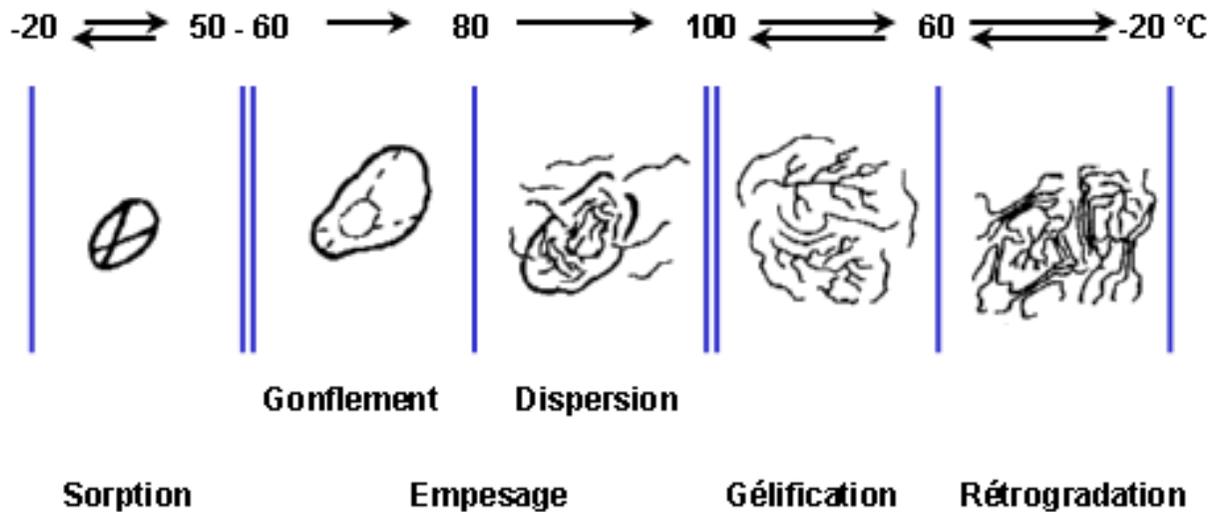
Carmody & Wrangham J Human Ev 57 (2009) 379
Fontana et al. Arch. Intern. Med., 165 (2005), 684

Evenepoel et al. J. Nutr., 128 (1998) 1716–1722,
Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol., 277 (1999) 935

- Amélioration de la palatabilité
 - Et donc des quantité consommées
 - Elimination de facteurs antinutritionnels

Amidon

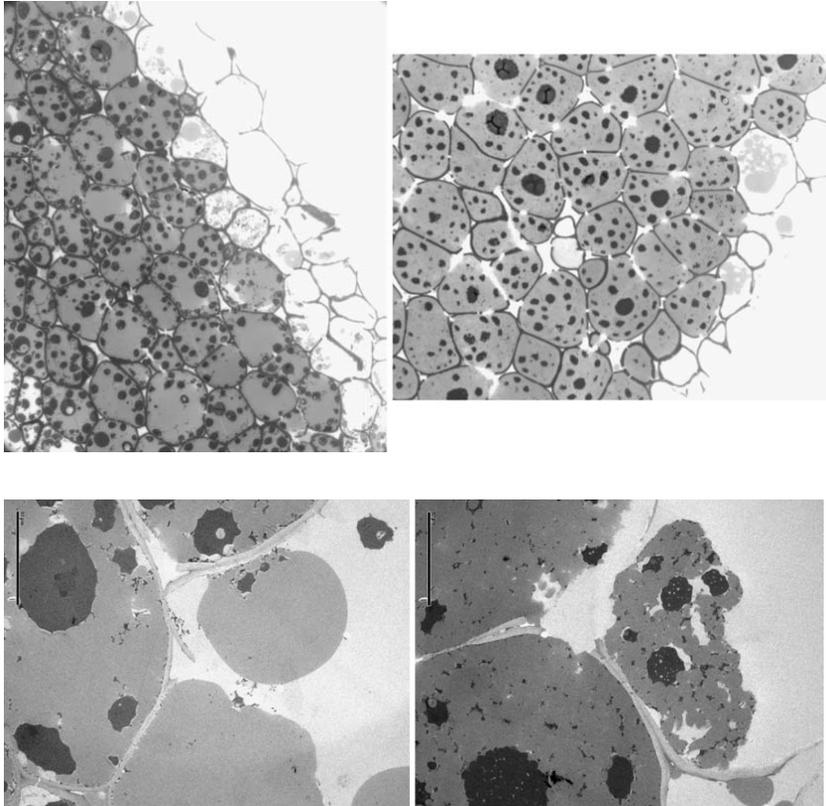
- Amidon natif est un amidon résistant (RS1)
 - La gélatinisation (eau + chaleur) le rend accessible aux amylases



Influence des procédés

- Amélioration de la digestibilité par la perte de la structure granulaire
 - Gélatinisation: cuisson en milieu riche en eau
 - Broyage, procédés mécaniques, cuisson-extrusion
- Mais: diminution de la digestibilité par formation de complexes ou enrobage
 - Rétrogration au froid, friture et cuisson au four, pâtes versus pain
- Micro-ondes??

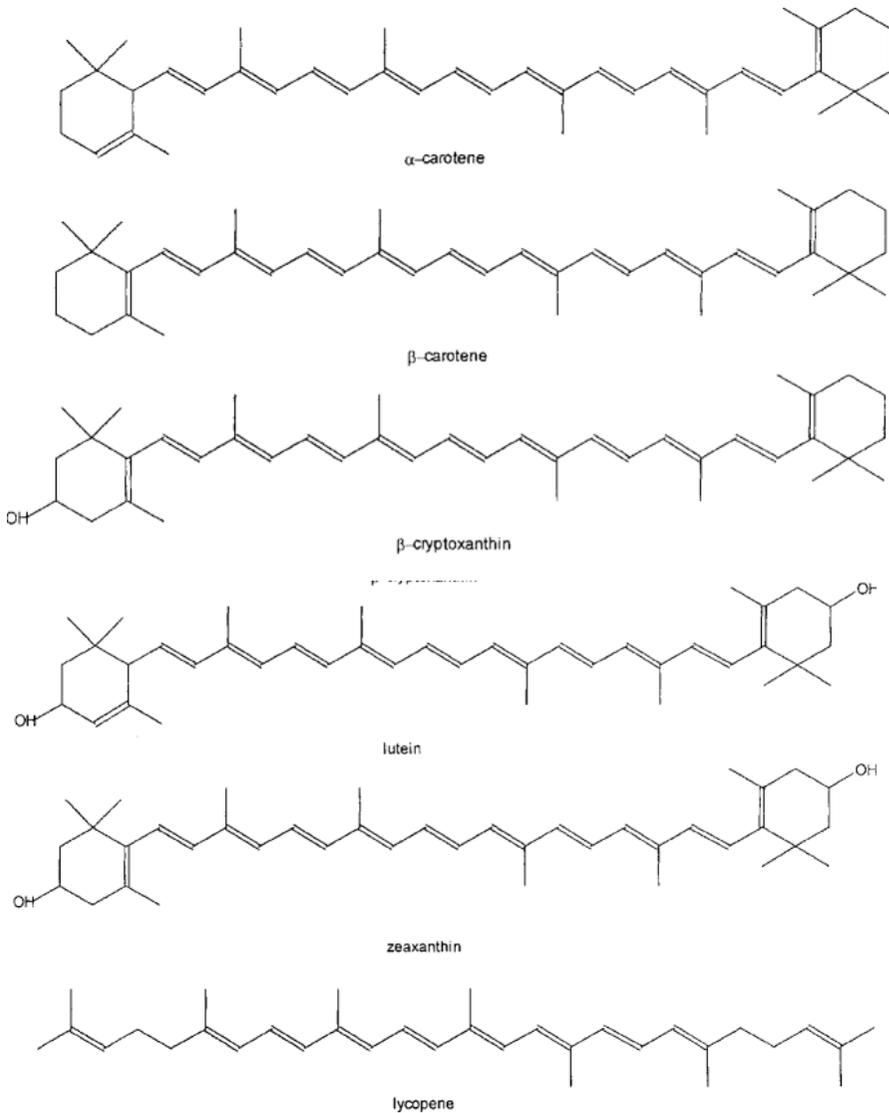
Les lipides



- Effet de « bio-encapsulation »
 - Clairement démontré pour les fruits oléagineux
 - Faible digestibilité des lipides:
 - Libération des lipides
 - Diffusion limitée des lipases

Fragments d'amandes crues / grillées après 1h de digestion gastrique simulée

Principaux caroténoïdes alimentaires

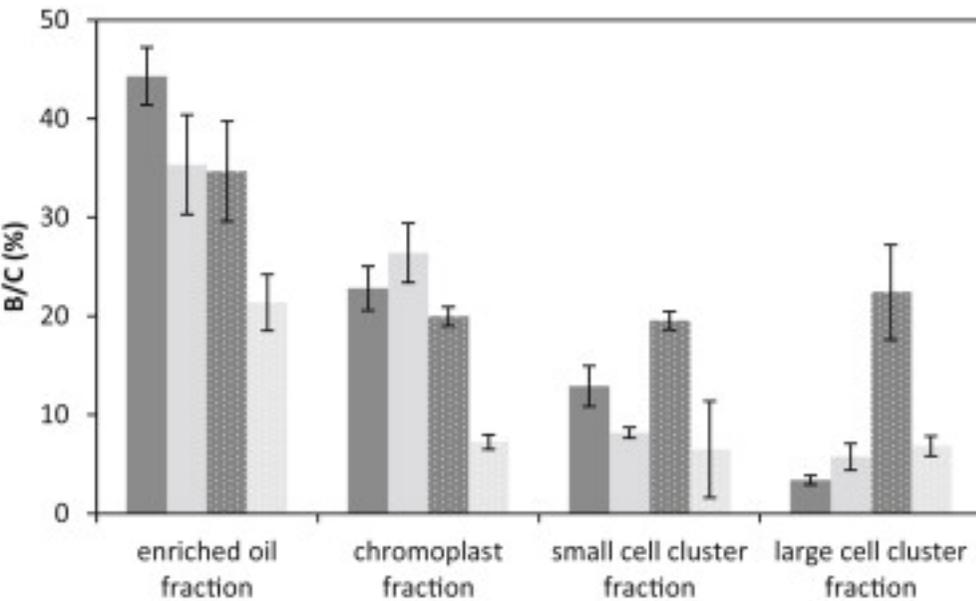


- Provitamine A ou non
- Hydrophobes
 - Carotènes
 - Xanthophylles
- Chloro et chromoplastes
- Colorés

Bioaccessibilité des caroténoïdes

- Caroténoïde bioaccessible
 - Présence dans la phase micellaire
- Les caroténoïdes sont peu bioaccessibles à partir des aliments végétaux Reboul et al. J Agric Food Chem 54 (2006) 8749
 - Constatations sur l'augmentation de leur biodisponibilité à partir de produits cuits / broyés
 - Cis/trans, libération facilitée? Van het Hof et al. J Nutr 130 (2000) 1189
- Traitements thermiques et broyages augmentent la bioaccessibilité des caroténoïdes
 - Des structures plus ouvertes sont plus favorables
 - Taille des particules et ouverture des cellules
 - Importance de la présence (et nature) de lipides

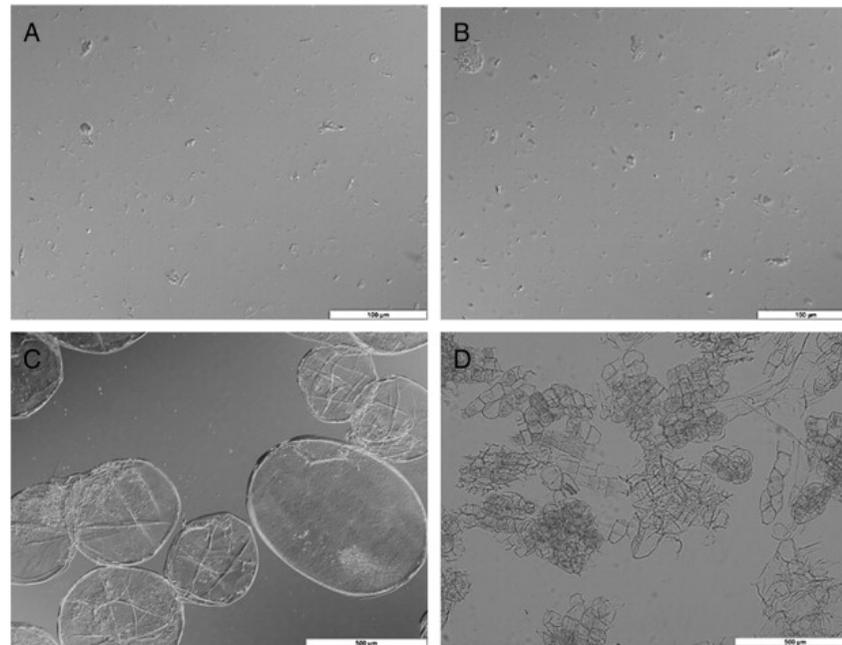
La bioaccessibilité varie avec le caroténoïde, le végétal et le broyage



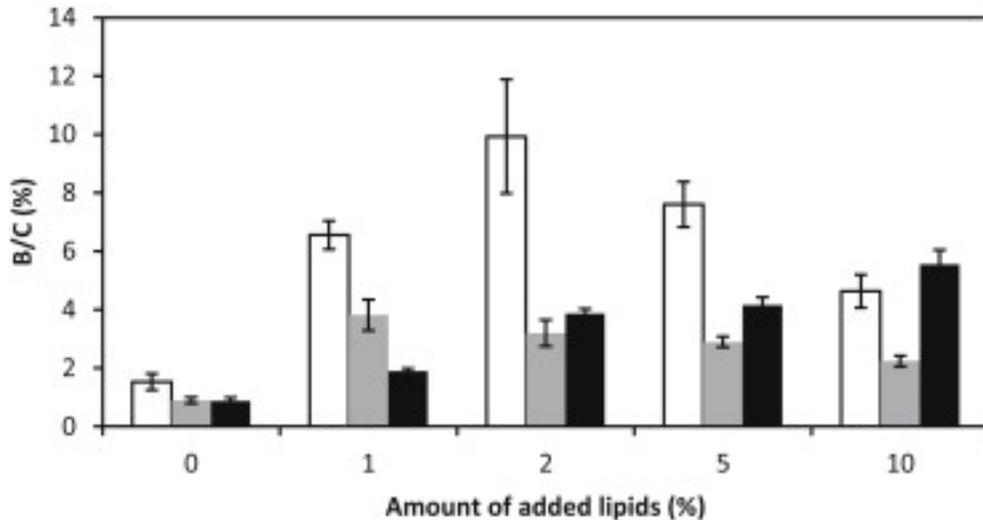
Carotenoid bioaccessibility (B/C, %) in fractions isolated from orange carrots (dark grey), red carrots (light grey), orange tomatoes (dark grey with dots) and red tomatoes (light grey with dots)

Carotte > tomate

Chromoplastes > Petits amas de particules > Gros amas



Et les lipides?

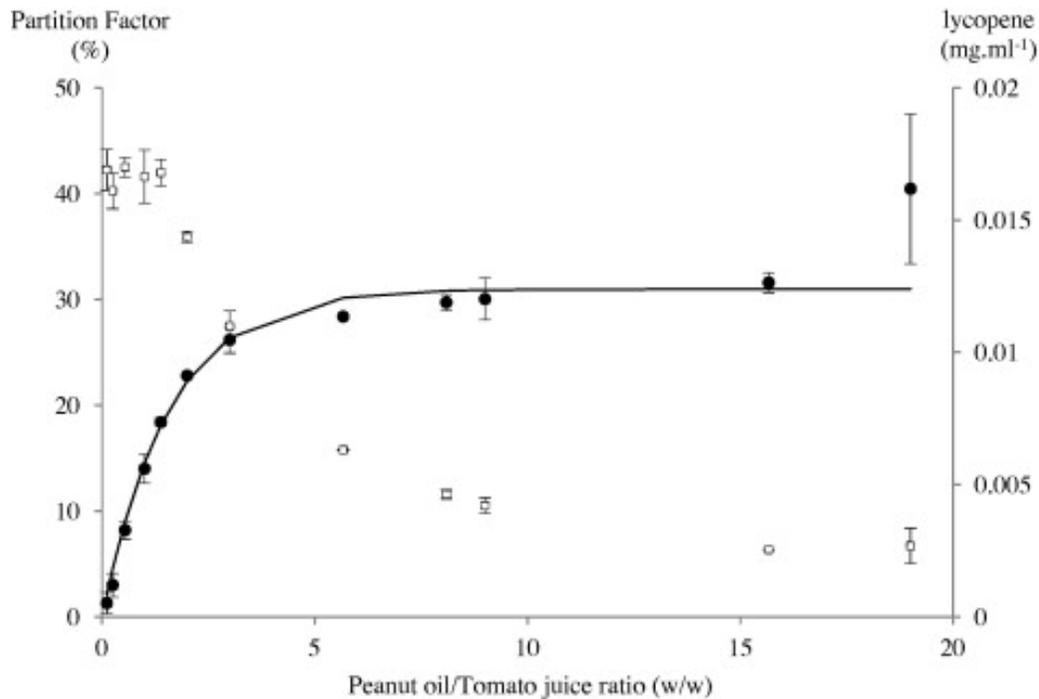


Lycopene bioaccessibility (B/C, %) in tomato puree as influenced by the amount of lipids added (olive oil addition = white bars, fish oil addition = grey bars, coconut oil addition = black bars).

Importance de la teneur et composition des lipides

Mais:

- possibilité de saturer la phase lipidique
- Effet de l'émulsifiant



Evolution du transfert du lycopène dans la phase huileuse en fonction du ratio puree de tomate / huile

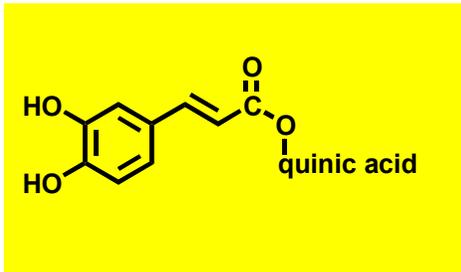
Faibles teneurs en huile: limité par la solubilité dans l'huile
 Fortes teneurs en huile: transfert reste incomplet, effet de la matrice végétale

Principaux polyphénols

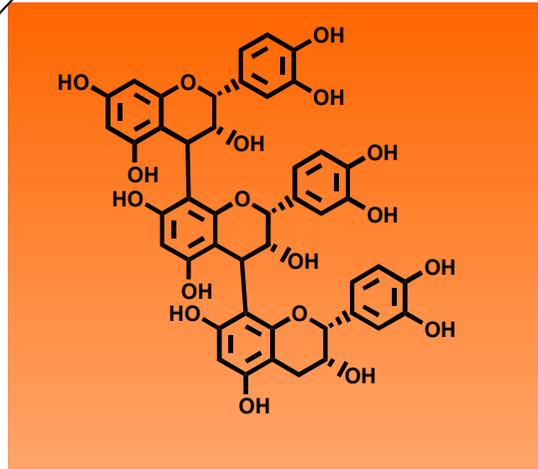
Flavonoïdes →

Non flavonoïdes

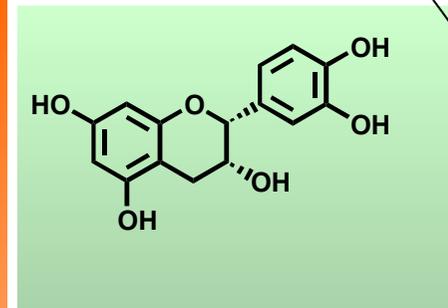
Acides Hydroxycinnamiques



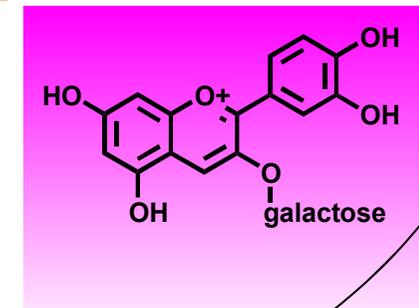
Procyanidines



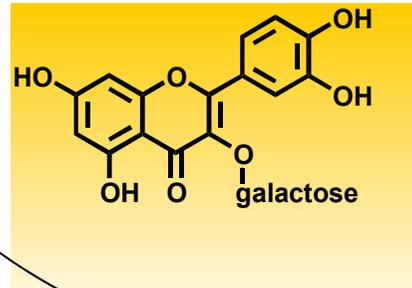
Catéchines



Anthocyanes



Flavonols

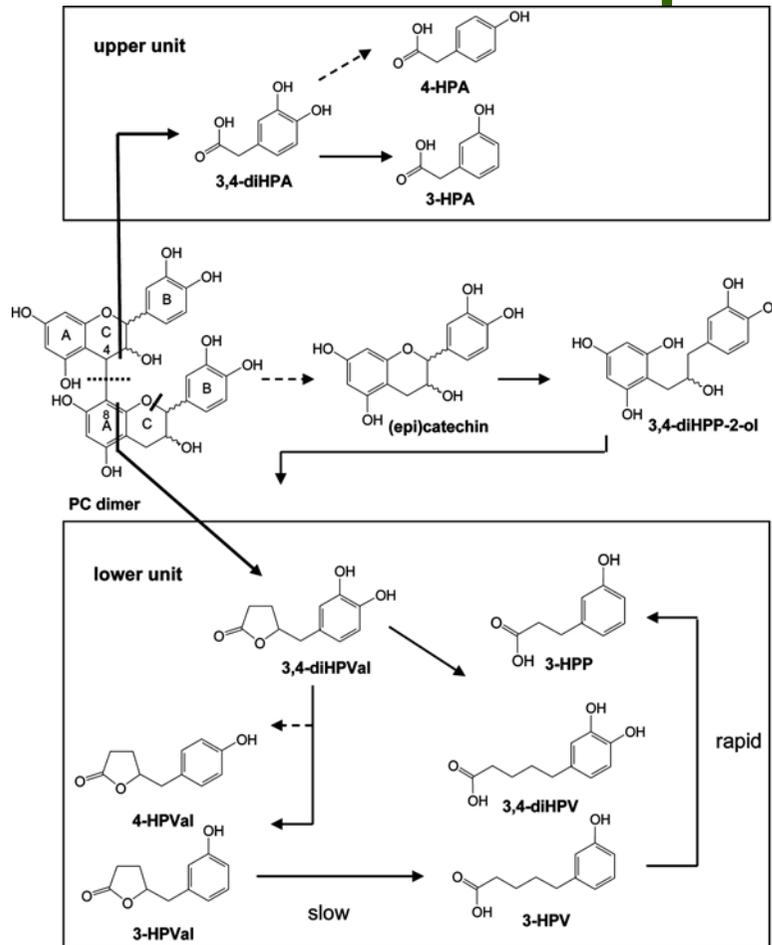


Polyphénols et leurs métabolites

- Les polyphénols simples sont en général libérés assez facilement
 - Boissons
 - Petits et hydrosolubles
- MAIS
 - Liaison avec les protéines ou polysaccharides
 - Problèmes de stabilité au pH de l'intestin
- Présence de polyphénols « non-extractibles »
 - Interaction avec les macroconstituants (protéines, polysaccharides)
 - Production de métabolites coliques, biodisponibles

Importance de la fermentation colique

- Conversion des polyphénols, notamment des tannins condensés, en phénylvalérolactones et acides phénoliques

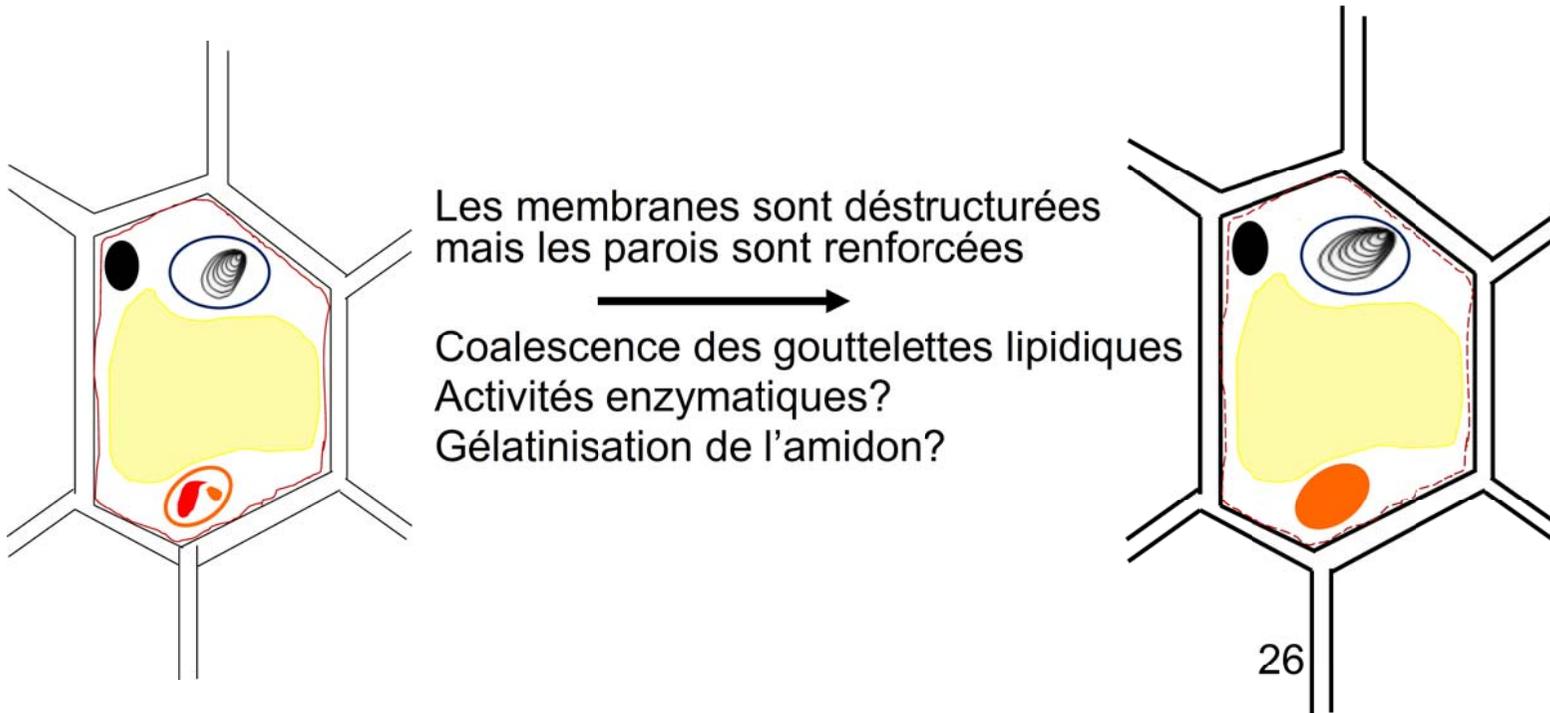


Impact des procédés et de la matrice alimentaire

- Dégradation des polyphénols
 - Broyage, pressage : oxydation
 - Dégradation « thermique » avec oxydation et formation d'adduits
- Interactions non covalents:
 - Formation d'adduits avec les parois, avec les protéines...
 - Quel impact sur les fermentations coliques?
 - polyphénols + fibre

Quel effet des Hautes Pressions (HPP)

- HPP-processing ou pascalisation
 - Application de 200 à 600 MPa, quelques minutes

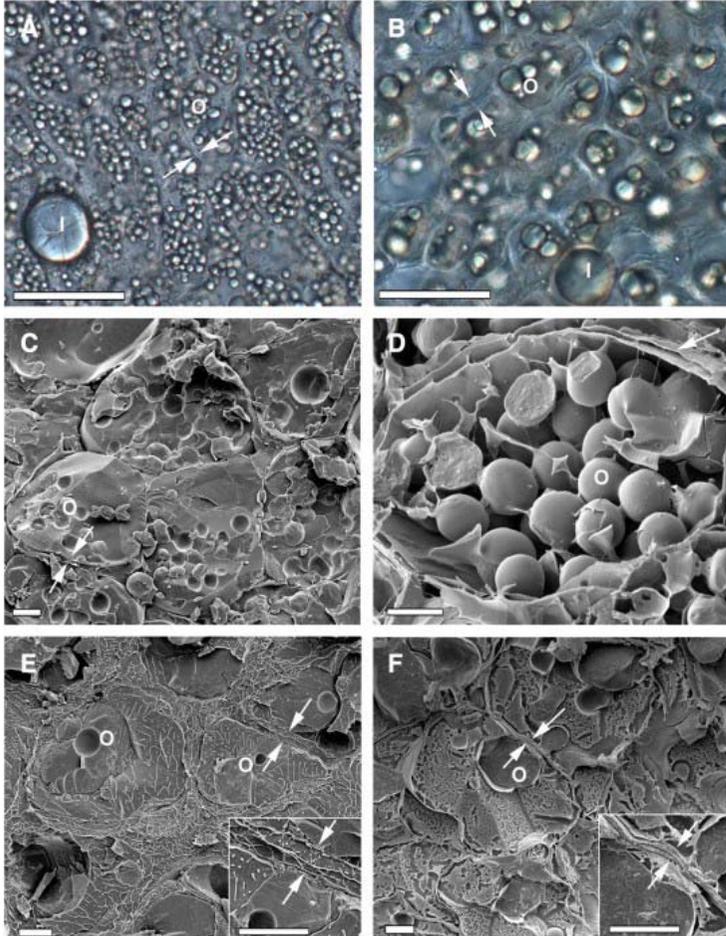


Les conséquences sur la bioaccessibilité

Tranches d'avocat, 6 min à 600 Mpa

Avant

Après



Woolf et al. IFSET 18 (2013) 65

Coalescence des gouttelettes lipidiques mais les parois restent intactes

Augmentation des quantités de caroténoïdes détectées (déstructuration des plastes)

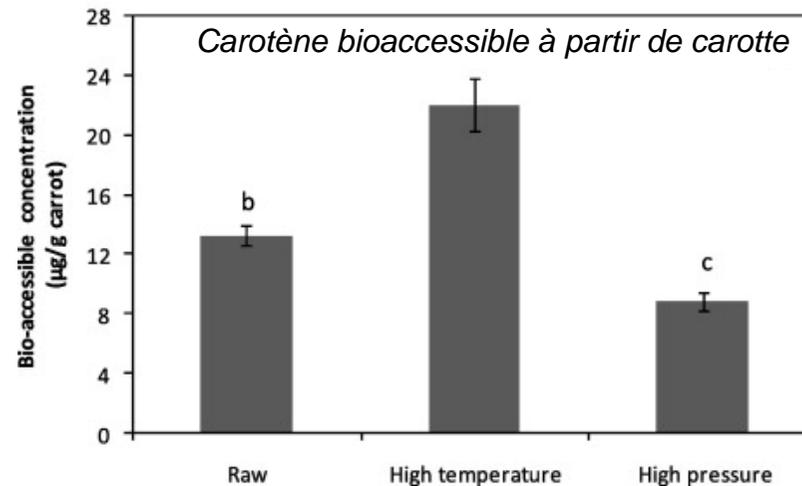
Jacobo-Velazquez & Hernandez-Brenes, IFSET 16 (2012) 121

Mais **diminution de la bioaccessibilité** des caroténoïdes – et de l'amidon

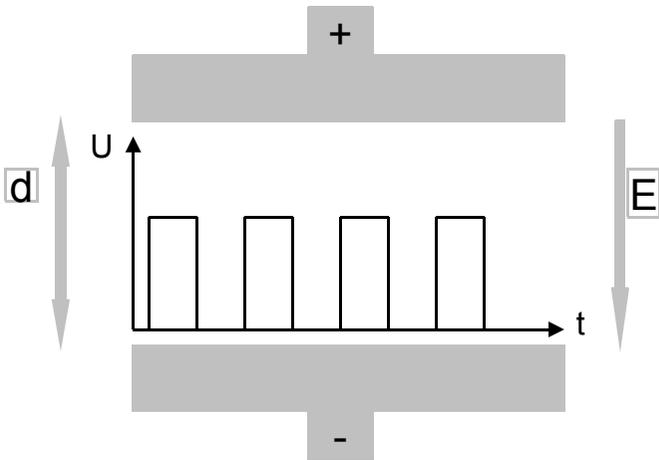
Panozzo et al. Food Chem 141 (2013) 4094) 121

Liu et al. Starch/Stärke 60 (2010) 615

Knockaert et al. Food Chem 125 (2011) 903



Les champs électriques pulsés (PEF)

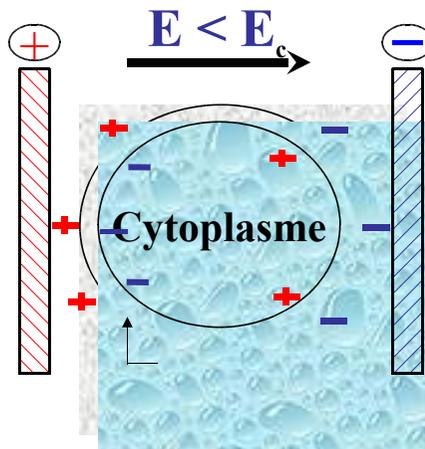


E: champ électrique (V/cm)
 U: tension entre les électrodes (V)
 t: temps de traitement (s)
 d: distance entre les électrodes (cm)

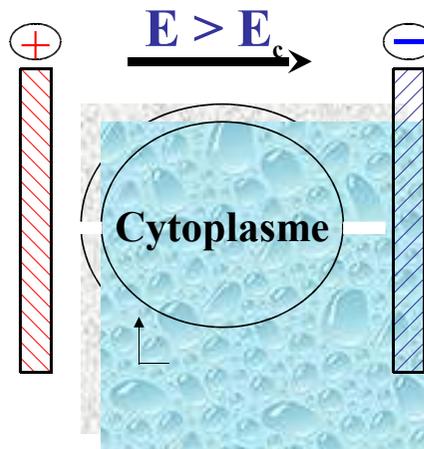
Le champs électrique appliqué peut conduire à l'ouverture de pores voire la destruction des membranes.

Il y a une relation entre la taille de la cellule et l'intensité nécessaire.

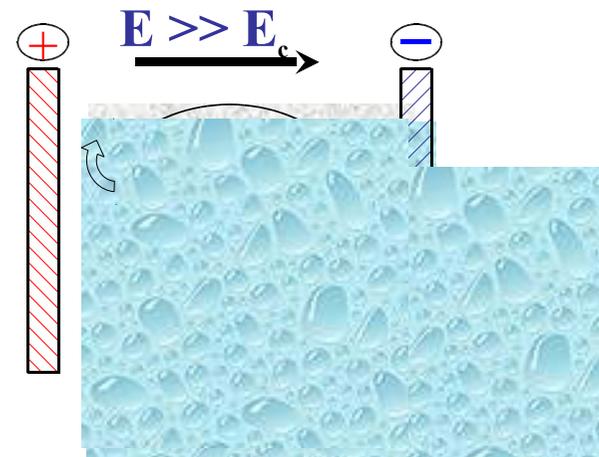
Compression membranaire



Electroporation



Electroplasmolyse



E_c : Champ électrique critique

Effets sur la bioaccessibilité?

- Les champs électriques pulsés modérés appliqués aux tissus végétaux
 - améliorent les transferts de masse et donc l'extractabilité
 - Utilisé en extraction
 - Dégradent peu ou pas les petites molécules (bioactives)
 - Mais inactivent pas ou peu les enzymes:
 - oxydation facilitée
- Pas de différence de biodisponibilité de la vitamine C / jus ou gazpacho

Sanchez-Moreno et al. Int J Food Sci Nutr 56 (2005) 115

Sanchez-Moreno et al. J Nutr Biochem 15 (2004) 601

Les ultrasons

- Utilisés pour homogénéiser
- Dégradation « mécanique » des parois végétales
 - Possibilité d'augmenter la bioaccessibilité des caroténoïdes
 - Mais dégradation accélérée

Avant



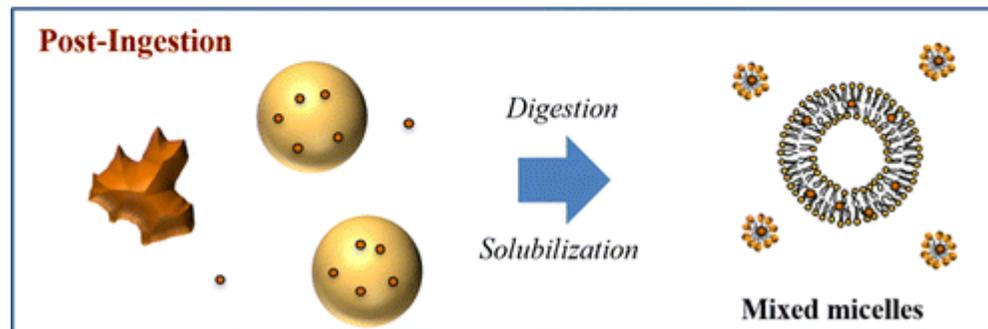
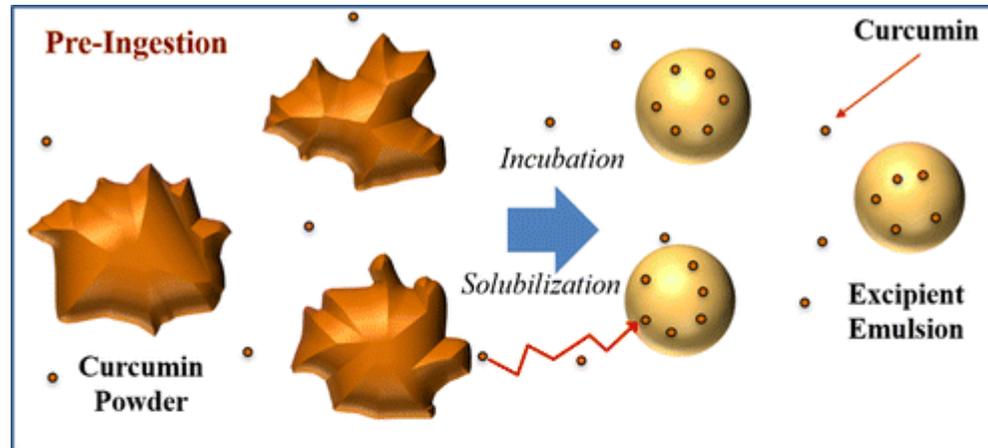
Après



30

La formulation

- Utiliser la composition de la matrice alimentaire pour favoriser la bioaccessibilité
 - Micellarisation des caroténoïdes ou curcumine
 - Dissolution et obtention de gouttelettes fines
 - Huile, émulsifiants



Conclusion

- Les procédés « classiques » (broyage, cuisson) ont en général un effet favorable
- Très peu de données sur les procédés nouveaux
 - Procédés de stabilisation
 - Formulation et texturation
- Un manque général de travaux

- Merci pour votre attention!



% of carotenoids in digest from tomato

