

PROTOCOLE

PRISE EN MAIN DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

Besoins produits & optimisation des emballages
CITEO x LIBio-ENSAIA

Introduction au vieillissement accéléré

Définition et intérêt

Le vieillissement accéléré consiste à exposer un aliment à des **conditions spécifiques** afin de reproduire, en un temps réduit, les altérations potentielles liées au vieillissement naturel. Cette technique permet d'anticiper les altérations que subira le produit durant sa conservation, tout en raccourcissant considérablement la durée d'observation nécessaire.

Cette méthode est particulièrement utile en phase de R&D, pour tester **de nouveaux emballages** ou pour évaluer le comportement **de nouveaux produits**. Elle est essentielle pour les denrées à longue durée de conservation dont l'évolution en conditions ambiantes peut nécessiter plusieurs mois, voire plusieurs années.

- Le vieillissement accéléré est un levier stratégique dans une démarche d'éco-conception. Il permet d'optimiser le couple produit-emballage, tout en réduisant de manière significative les délais d'observation.

Applications et limites du vieillissement accéléré

✓ Le vieillissement accéléré :

- Fonctionne pour des produits avec une DDM (Durée Durabilité Minimale) > à 4 semaines
- Se base sur des tests physico-chimiques ou sensoriels
- Nécessite 2 températures de conservation à minima
- Donne une réponse fiable en 3 à 6 semaines de conservation

✗ Le vieillissement accéléré ne fonctionne pas :


- Pour des produits avec une DLC (Date Limite de Consommation) < à 4 semaines, concernés par des problèmes microbiologiques ;
- Pour des produits normalement conservés à basse température (au froid) et/ou subissant un changement d'état dans les conditions de conservation accélérée (ex : fusion, transition vitreuse, etc.)

Facteur d'accélération

La méthodologie de vieillissement accélérée repose sur le calcul d'un **facteur d'accélération** (FA). Ce facteur exprime la **vitesse de vieillissement dans des conditions accélérées par rapport à des conditions normales**. Il varie en fonction des paramètres appliqués et du **type de dégradation** que l'on souhaite étudier (perte d'humidité, oxydation, brunissement, etc.).

Par exemple, un « facteur d'accélération de 5 » signifie :

5 semaines de conservation en conditions ambiantes = 1 semaine de vieillissement en conditions accélérées.

 **A noter** - Le facteur d'accélération est dépendant du produit analysé et de sa composition. Chaque produit a un facteur d'accélération spécifique.

RECOMMANDATION

- » Il est conseillé de ne pas dépasser un facteur d'accélération de 10. Au-delà la vitesse d'altération du produit risque d'être trop dénaturée et les résultats ne seront plus représentatifs du vieillissement normal du produit en conditions ambiantes.

La méthode pour obtenir un facteur d'accélération est détaillée à l'étape 5.

Protocole de mise en vieillissement accéléré

Prérequis : Matériel

Pour mettre en place une méthodologie de vieillissement accéléré, il est nécessaire d'avoir une **étuve** ou une **chambre de stockage régulée** en température et en hygrométrie.

Si l'équipement n'est pas disponible en interne, il est possible de faire appel à un laboratoire externe.

La méthodologie ci-dessous ne peut se faire que sous humidité et température contrôlées.


Etape 1 : Définir les objectifs de l'expérimentation

Il est essentiel de définir les objectifs des essais. Ils orienteront les choix des conditions techniques des essais pour la suite du protocole : tests analytiques, durée des essais, paramètres de vieillissement, etc.

Il est possible de simuler l'évolution d'un produit dans le temps pour 3 objectifs principaux :

- **Évaluer l'influence des performances barrières d'un emballage sur le comportement d'un produit** : il s'agit ici de comprendre comment un emballage influence la conservation du produit, en particulier sa sensibilité à l'humidité, à l'oxygène ou à la lumière.

- **Évaluer et ajuster la date de durabilité minimale (DDM) d'un produit** : cela permet d'affiner la durée de conservation affichée, éviter une DDM trop courte (générant un risque de gaspillage) ou trop longue (risquant une perte de qualité).
- **Tester une nouvelle formulation de produit** : dans le cas d'une modification de recette ou du développement d'un nouveau produit, cela permet d'évaluer la stabilité du produit, sa texture, sa sensibilité à l'oxydation, etc.

 Pour optimiser son **emballage** afin de répondre au juste besoin des produits, le protocole se concentre sur le vieillissement accéléré utilisé dans un but **d'étudier le comportement du produit en fonction des performances barrières apportées par l'emballage**.

Etape 2 : Elaborer le plan expérimental

Le plan expérimental permet de définir les paramètres techniques :

- Le nombre de produits et d'emballages à tester ;
- Les conditions de conservation choisies ;
- La fréquence des prélèvements (ex. : hebdomadaire, mensuelle, ...);
- La durée totale des essais, en fonction de la DDM et des prélèvements ;
- Les indicateurs de vieillissement à suivre, selon différents tests, comme :
 - Tests physico-chimiques (perte d'humidité, oxydation, texture, ...),
 - Tests sensoriels (notes de goût, odeur, texture, ...),
 - Tests microbiologiques.

Exemples de questionnements à se poser :

- Quel type de vieillissement je veux observer sur mon produit ? Quel test me permet d'observer ce vieillissement ?
- Combien d'emballages avec différentes perméabilités je veux tester ? Quelle quantité sera nécessaire pour conditionner tous mes produits ?
- Si je fais des tests sensoriels, quel sera l'effectif de mon panel – de combien ai-je besoin de produits pour chaque prélèvement ?
- Quelle est la durée de mon vieillissement (en fonction de la DDM pour la condition ambiante) ? A quelle fréquence je veux observer des changements ? Combien de prélèvements sont nécessaires ?

EXEMPLE SUR LE PROJET BEBAP (Besoins Barrières Produits)


Avec l'ENSAIA, nous avons mené une étude sur les besoins barrières des produits du secteur « Biscuits – Gâteaux – Panification ». Pour cela, nous avons établi un protocole de vieillissement accéléré, comme suit à titre d'exemple pour 1 référence produit :

- Nombre de référence produit testé : exemple → 1 référence de cookie
- Nombre d'emballages à perméabilités variables : 3 emballages
- Conditions de conservation : 2 (ambiante et accélérée)

Nombre de conditions différentes = 1 x 3 x 2 = 6

- Durée de vie des produits : 6 mois (DDM produit)
- Nombre et fréquence des prélèvements : mesure à J0 + 10 prélèvements à répartir sur 3 mois de vie du produit :
 - Ambiante à 20°C : t0j ; t14j ; t28j ; t40j ; t65j ; t90j.
 - Accélérée à 35°C : t7j ; t14j ; t30j ; t45j ; t60j.
- Analyse pour définir le facteur d'accélération : Mesure du gain ou de la perte de poids du produit à chaque prélèvement (exprimé en % (g/100g))
→ soit 3 produits pour chaque mesure (en triplicat), chacun emballé dans 3 emballages différents

**Nombre d'échantillons pour cette mesure de variation de poids
= 11 prélèvements x 3 échantillons x 3 emballages = 99 échantillons**

 **A noter** – D'autres analyses peuvent être réalisées afin d'observer plusieurs paramètres de vieillissement. Pensez à multiplier par le nombre d'échantillons nécessaires à chaque analyse.

- Tests complémentaires : 5 séances d'analyses sensorielles avec un panel de 15 jurés

**Nombre d'échantillons pour cette mesure
= 5 séances x 15 personnes x 6 conditions = 450 échantillons**

Total d'échantillons produits = 99 + 450 = 549 cookies

Etape 3 : Déterminer les conditions de vieillissement

Les conditions de vieillissement (température, humidité, etc.) doivent être définies en fonction du type de produit et ce que l'on souhaite étudier. Pour définir les conditions :

- Il est nécessaire d'avoir à minima 2 températures pour la comparaison. Idéalement pour définir le facteur d'accélération de son produit dans un premier temps, il est recommandé de tester avec 3 températures, par exemple : 25°C, 35°C et 45°C.
- Il est recommandé de ne pas dépasser une température de 45°C, au risque de fausser l'altération du produit.


EXEMPLE SUR LE PROJET BEBAP (Besoins Barrières Produits)

Nous avons défini des conditions spécifiques pour favoriser le vieillissement accéléré des produits du [secteur Biscuiterie - Gâteaux – Panification](#).

Ces paramètres mettent en jeu un **double effet d'accélération** du vieillissement avec la température et l'hygrométrie. Les conditions recommandées sont les suivantes :

- **Conditions ambiantes :**
 - Température : 20 °C
 - Humidité relative (HR) : 30 %
- **Conditions accélérées :**
 - Température : 35 °C (qui est un été chaud en France)
 - Humidité relative (HR) :
 - Faible 10 à 20 % va favoriser le dessèchement (rétrogradation, cristallisation) des produits humides ($a_w > 0,5$: ex. pain, madeleines, ...)
 - Forte 50 à 60 % va favoriser l'absorption d'humidité et le phénomène de plastification d'amidon sur des produits secs ($a_w < 0,5$: ex. cookies, biscuits, ...)

La valeur a_w , « water activity », est un paramètre qui traduit la proportion d'eau libre dans un produit.

 **A noter** - Ces conditions présentées sont différentes des conditions normées couramment utilisées pour les tests de caractérisation des emballages (25°C - 75% HR ; 38°C - 90% HR ; ...). L'objectif du projet était de définir des conditions adaptées aux produits testés.

Etape 4 : Procéder à la mise en vieillissement

Une fois l'ensemble des paramètres définis, il est possible de passer à la **partie opérationnelle de mise en vieillissement des produits** :

1. S'approvisionner en produits et en emballages selon les quantités définies ;
2. Conditionner les produits dans les différents emballages aux propriétés barrières variables ;
3. Mettre en vieillissement les produits en chambre de stockage sous température et humidité contrôlées ;
4. Assurer le suivi des indicateurs au cours du temps et réaliser les prélèvements selon le planning défini pour les tests analytiques ou les évaluations sensorielles.

L'ensemble des données collectées permettra de **définir un facteur d'accélération** spécifique à un produit ou une famille de produit avec une composition proche (ex : famille des produits biscuits à 5% d'humidité de type cookies).

Etape 5 : Déterminer le facteur d'accélération d'un produit

Pour déterminer le facteur d'accélération dans le cadre d'une optimisation d'emballage, il faut :

- Comparer l'évolution des dégradations des produits, en fonction des 2 températures et hygrométries choisies.

La majorité des cas en alimentaire ont une cinétique de dégradation d'ordre zéro (0) ou d'ordre un (1).


- Cas des cinétiques d'ordre zéro (0) : on observe une évolution linéaire.
Ex. en Annexe I avec une cinétique d'ordre 0 et le type de droites observées
- Cas des cinétiques d'ordre un (1) : l'évolution n'est pas linéaire, il faut basculer les données en log afin d'obtenir des droites.

- Calculer le facteur d'accélération (FA), selon la formule d'ordre 0 suivante :

$$FA = \frac{y \text{ T}^\circ \text{ accélérée}}{y \text{ T}^\circ \text{ ambiante}}$$

y : correspond à la pente des droites

Ex. en Annexe I


 **A noter** – Le facteur d'accélération intègre les notions d'énergie d'activation développées dans le modèle d'Arrhenius. Il est possible d'utiliser le modèle d'Arrhenius si l'hygrométrie n'est pas modifiée dans les tests de conservation accélérée, afin d'évaluer les effets de la température sur la vitesse de réaction.

Se référer à l'Annexe II

Etape 6 : Intégrer le vieillissement accéléré comme un outil dans vos travaux R&D

Une fois le facteur d'accélération déterminé pour un produit ou une famille de produit donné (avec une composition proche et non modifiée) et des conditions d'accélération données (T° et HR), il est réutilisable et **applicable pour tous les essais de vieillissement accéléré**.

L'intégration du vieillissement accéléré dans une démarche d'écoconception ouvre plusieurs perspectives :

- **Réduire les délais de tests** : en passant de plusieurs mois de vieillissement à quelques semaines pour simuler l'acceptabilité de différents emballages sur la conservation du produit.
- **Identifier le juste besoin en barrière du produit** : en observant l'influence des niveaux de barrières de l'emballage sur la conservation du produit, pour identifier les niveaux de barrières idéales à rechercher.
 *Ex. issu du projet BeBaP. – Le besoin de barrière à la vapeur d'eau du cookie pour se conserver 6 mois est inférieur à $10 \text{ g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$*
- **Optimiser les emballages en fonction du besoin barrière** : en croisant les résultats des essais avec les données de perméabilités des matériaux, il est possible de choisir des emballages plus fins, plus simple, plus recyclage, etc.

Le vieillissement accéléré s'intègre à votre démarche d'optimisation des emballages et s'inscrit dans un enjeu global de réduction de l'impact environnemental.

Ce protocole vise à vous aider à mettre en place des travaux de R&D en simulant le comportement de couples produits-emballages dans un temps réduit : n'hésitez pas à le partager à vos équipes !

Annexe I – Exemple de détermination du facteur d'accélération

Exemple de calcul du facteur d'accélération pour des tranches de pain de mie

- Type de dégradation observée : changement de poids (exprimé en %)
- Températures/hygrométries de conservation : 20°C/30%HR et 35°C/10%HR
- Suivi dans le temps et prélèvement : 26 jours

Suivi dans le temps de l'indicateur de vieillissement des produits, à température ambiante et accélérée, et obtention d'une cinétique linéaire d'ordre zéro (Figure 1 et 2) :

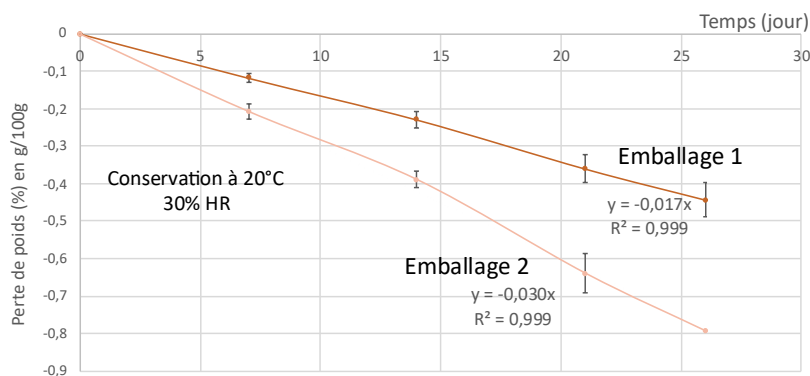


Figure 1 : Perte de poids du pain de mie dans deux emballages différents (1 et 2), conservé en conditions ambiantes à 20° C et 30% d'humidité relative (HR)

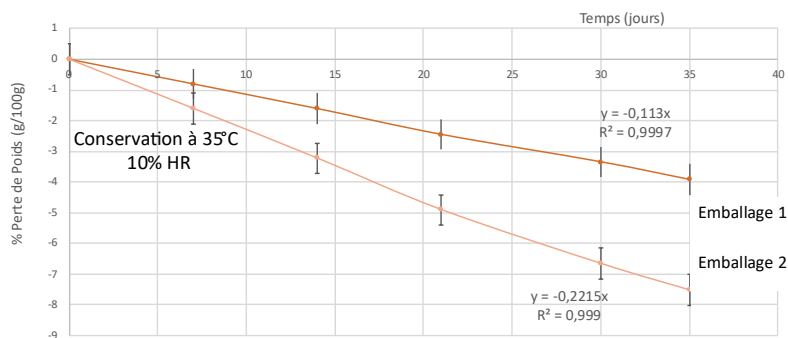


Figure 2 : Perte de poids du pain de mie dans deux emballages différents (1 et 2), conservé en conditions accélérées à 35° C et 10% d'humidité relative (HR)

Une comparaison des pertes de poids entre la conservation ambiante et accélérée révèle qu'après 26 jours de stockage, les échantillons de pain de mie sous emballage ont subi des pertes de masse en conditions ambiante (20°C) et accélérée (35°C).

Nous observons ainsi une perte d'eau plus importante par l'élévation de la température et la réduction de l'hygrométrie.

Pour calculer le facteur d'accélération, il faut utiliser la formule suivante :

$$FA = \frac{y_{T^{\circ} \text{ accélérée}}}{y_{T^{\circ} \text{ ambiante}}}$$

y : correspond à la pente des droites

Les pentes des droites de pertes de poids des produits sont :

- Produits dans l'emballage 1 : à 20°C 0,017%/j ; et à 35°C 0,113%/j
- Produits dans l'emballage 2 : à 20°C 0,03%/j ; et à 35°C 0,2215%/j

Dans ces conditions, le vieillissement du pain de mie est accéléré et le facteur d'accélération est le suivant :

$$FA_{\text{Emballage 1}} = 0,113/0,017 = 6,6$$

$$FA_{\text{Emballage 2}} = 0,2215/0,03 = 7,4$$

Nous pouvons en conclure que le facteur d'accélération moyen des pertes d'eau du pain de mie obtenu par la conservation accélérée est de 7. **Cela signifie qu'une semaine de conservation à 35°C/10%HR correspond à 7 semaines de conservation à 20°C/30%HR.**

Ce facteur d'accélération traduit à la fois l'effet de l'augmentation de température (réactions plus rapides) et de la diminution de l'hygrométrie de la salle de conservation (déshydratation plus rapide).

Annexe II – Modèle d'Arrhenius

Le modèle d'Arrhenius est un modèle voisin du calcul du facteur d'accélération si seule la température de conservation est modifiée (même hygrométrie dans les conditions de conservation normales et accélérées). Ce modèle permet de modéliser l'évolution d'une vitesse de réaction en fonction de la température.

Le modèle d'Arrhenius permet le calcul de l'énergie d'activation (E_a).

La vitesse de la réaction d'altération du produit $k(T)$ est définie, par la loi d'Arrhenius, comme suit :

$$k(T) = k_0 \exp (E_a/RT)$$

Avec : T = température ; k_0 = coefficient ; E_a = Energie d'activation ; R = Constante des gaz parfaits = 2 Cal.K⁻¹.mol⁻¹ dans l'air sec.

La détermination de l'énergie d'activation au moyen de tests de conservation à différentes températures permet de prévoir la vitesse d'altération à toute température comprise dans la gamme étudiée. Ce modèle est très utilisé dans les centres R&D d'entreprise et les laboratoires pour des conservations peu sensibles à l'humidité ambiante mais surtout à la température.

Direction IECR / R&D Ecoconception | Auteur : Florine Rollin | Février 2026

Le présent document demeure la propriété de CITEO Emballages Ménagers et Papiers Graphiques. Il est transmis à titre purement informatif et n'a pas valeur d'avis ou de recommandation technique et/ou juridique. Bien que tous les efforts aient été consentis pour s'assurer que les informations contenues dans ce document sont correctes et à jour, CITEO Emballages Ménagers et Papiers Graphiques décline toute responsabilité pour toute erreur ou omission. CITEO Emballages Ménagers et Papiers Graphiques ne garantit ni la pérennité ni l'exhaustivité des informations contenues dans ce document, au regard notamment, des évolutions et interprétations réglementaires en vigueur, de l'état de l'art et des dispositifs de la REP Emballages Ménagers et Papiers Graphiques. À ce titre, les détenteurs restent seuls responsables de l'utilisation de ce document.

PROTOCOL

UNDERSTANDING AND IMPLEMENTING ACCELERATED AGEING

Product Requirements & Packaging Optimisation
CITEO x LIBio-ENSAIA

Introduction to accelerated ageing

Definition and purpose

Accelerated ageing consists of subjecting food to **specific conditions** to simulate the potential effects of natural ageing, but in a shorter time frame. The process can help predict how a product will deteriorate over time once packaged, without having to observe it over a long period.

It is especially useful at the R&D stage, to test **new packaging** or evaluate the behaviour of **new products**. It is also essential for food with a long shelf life, which is sometimes stored under normal conditions over several months or years.

- Accelerated ageing is a strategic lever in the eco-design process. It helps optimise the product-packaging pairing while also significantly reducing observation times.

Applications and limitations

✓ Accelerated ageing:

- Is applicable to products with a BBD (best before date) > four weeks
- Is based on physiochemical or sensory tests
- Requires at least two storage temperatures
- Provides reliable results after three to six weeks of storage

✗ Accelerated ageing is not suitable for:


- Products with a UBD (use-by date) < four weeks and concerned by microbiological risks.
- Products that are normally kept at a low temperature (chilled or frozen) and whose state may change in accelerated shelf life conditions (e.g. fusion, glass transition, etc.)

Acceleration factor

The accelerated ageing procedure is based on the calculation of an **acceleration factor** (AF) This factor expresses the **speed of ageing in accelerated storage conditions compared with standard conditions**. It varies depending on the parameters used and the **type of deterioration** you want to study (moisture loss, oxidation, browning, etc.).

For example, an “Acceleration factor of 5” means:

Five weeks under normal conditions = one week of ageing under accelerated conditions.

 **Please note** – the acceleration factor is relative to the product analysed and its characteristics. Each product has its own acceleration factor.

RECOMMENDATION

- It is better not to exceed an acceleration factor of 10. Beyond that, the speed at which a product deteriorates is no longer realistic and the results will not reflect product ageing in normal storage conditions.

“Step 5: Calculating a product’s acceleration factor” describes how to obtain an acceleration factor.

Accelerated ageing protocol

Requirements: Equipment and facilities

To carry out the accelerated ageing procedure, you need an [incubator](#) or a [controlled temperature and humidity storage chamber](#).

If the equipment is not available in-house, you can call on the services of an external laboratory.


The procedure set out below can only be carried out under controlled temperature and humidity conditions.

Stage 1: Defining testing objectives

Defining test objectives is essential. They will guide you in your technical choices regarding testing conditions for the following stages of the protocol: analytical tests, duration of tests, ageing parameters, etc.

Simulating how a product changes over time can help you achieve three main objectives:

- **Evaluate the influence of packaging barrier performance on product behaviour:** the idea is to understand how a packaging solution influences product preservation, especially its sensitivity to moisture, oxygen or light.
- **Evaluate and adjust the best before date (BBD):** it lets you fine-tune product shelf life and avoid a BBD that is too short (risk of wastage) or too long (risk of quality loss).
- **Test a new product formula:** for a change in recipe or a newly developed product, it lets you test product stability, texture, sensitivity to oxygen, etc.

 To optimise your **packaging** so that you meet the exact requirements of your products, the protocol focuses on accelerated ageing used to **study the behaviour of a product in relation to the level of protection provided by the packaging**.

Stage 2: Drawing up the test plan

The test plan will be used to define technical parameters:

- Number of products and packaging to be tested
- Storage conditions
- Sampling frequency (e.g. weekly, monthly, etc.)
- Overall testing period according to the BBD and sampling requirements
- Ageing indicators to monitor, depending on the test, such as:
 - Physiochemical tests (moisture loss, oxidation, texture, etc.)
 - Sensory tests (taste, odour, texture ratings)
 - Microbiological tests

Examples of questions you can ask yourself:

- What type of ageing do I want to study for my product? Which test is best for observing this ageing process?
- How many packaging solutions with different permeability levels do I want to test? How much packaging will I need to package all my products?
- If I carry out sensory tests, how many people will be on the panel – how many products will I need each time sampling takes place?
- How long will the ageing period last (depending on the BBD under normal storage conditions)? How often will I monitor the changes? How many times do I need to take samples?

CASE STUDY: THE PRODUCT BARRIER REQUIREMENTS PROJECT


With the ENSAIA at the University of Lorraine, we conducted a study on product barrier requirements for the Bread Products, Cakes and Biscuits sector. To do this, we drew up an accelerated ageing protocol as follows (in this example, we refer to one product):

- Number of products tested: 1 cookie product
- Number of packaging solutions with different permeability levels: 3 packaging solutions
- Storage conditions: 2 (normal and accelerated)

Number of different conditions: $1 \times 3 \times 2 = 6$

- Product shelf life: 6 months (product BBD)
- Sampling quantity and frequency: measurement on D0 + 10 more times, spread out over three months of the product's shelf life.
 - Normal at 20°C: t0d, t14d, t28d, t40d, t65d, t90d.
 - Accelerated at 35°C: t7d, t14d, t30d, t45d, t60d.
- Analysis to calculate the acceleration factor: Measurement of product weight gain or loss each time you sample (expressed as a % (g/100g)) → i.e. 3 products measured each time

**Number of samples for measuring the variation in weight
= 11 times x 3 samples x 3 packagings = 99 samples**

 **Please note** – other analyses can also be carried out to study several ageing parameters. Don't forget to multiply by the number of samples required for each analysis.

- Additional tests: 5 sensory evaluation sessions with a panel of 15 people

**Number of samples for this test
= 5 sessions x 15 people x 6 conditions = 450 samples**

Total number of product samples: $99 + 450 = 549$ cookies

Stage 3: Defining ageing conditions

Ageing conditions (temperature, humidity, etc.) need to be defined according to the type of product you want to study. Defining ageing conditions involves:

- Having at least 2 temperatures for comparison. Ideally, to calculate the acceleration factor for your product, you should include three temperatures in your test plan, for example: 25°C, 35°C and 45°C.
- It is best not to exceed 45°C, as you run the risk of obtaining erroneous results for your product.


CASE STUDY: THE PRODUCT BARRIER REQUIREMENTS PROJECT

We defined specific conditions to encourage the accelerated ageing of products from the [Bread Products, Cakes and Biscuits sector](#).

Specific temperature and humidity conditions were achieved to create a **double acceleration effect**. The recommended conditions are as follows:

- **Normal conditions:**
 - Temperature: 20°C
 - Relative humidity (RH): 30%
- **Accelerated conditions:**
 - Temperature: 35°C (equivalent to a hot summer in France)
 - Relative humidity (RH):
 - A low RH of 10 to 20% will lead to moist products drying out (retrogradation, crystallisation) ($a_w > 0.5$, e.g. bread, sponge cakes, etc.)
 - A high RH of 50 to 60% will lead to moisture absorption and starch gelatinisation in dry products ($a_w < 0.5$, e.g. cookies, biscuits, etc.)

The a_w (water activity) value is a parameter that indicates the ratio of accessible water in a product.

 **Please note** – the conditions presented above are different to the standardised conditions regularly used for packaging characterisation tests (25°C + 75% RH; 38°C + 90% RH; etc.). The goal of the project was to define the right conditions for the product tested.

Stage 4: Applying the accelerated ageing process

Once all the parameters have been determined, you can move on to **applying the accelerated ageing process to products**:

1. Procure products and packaging according to the quantities pre-calculated.
2. Package the products in the various packaging solutions with different barrier properties.
3. Put the products to age in a controlled temperature and humidity storage chamber.
4. Make sure the indicators are monitored over time and take samples as set out in the testing plan for analytical tests or sensory evaluations.

All the data collected will be used to **calculate an acceleration factor** specific to each product or product family with similar characteristics (e.g. “cookies with 5% humidity” product family).

Stage 5: Calculating a product’s acceleration factor

To calculate an acceleration factor that can be used in packaging optimisation, you need to:

- Compare how products deteriorate under the two temperature and humidity conditions chosen:

In most cases food is found to deteriorate in zero- or first-order reactions.


- In cases of zero-order reactions, the deterioration is linear.
See example in Appendix 1 showing a zero-order deterioration and the types of lines produced
- In cases of first-order (1) reactions, the deterioration is not linear – you need to switch to log data to obtain straight lines.

- Calculate the acceleration factor (AF) according to the following zero-order formula:

$$FA = \frac{y T^{\circ} \text{ accelerated}}{y T^{\circ} \text{ normale}}$$

y corresponds to the gradient of straight lines

See example in Appendix 1


 **Please note** – the acceleration factor includes the notion of activation energy from the Arrhenius model. You can use the Arrhenius model if the humidity is not modified in accelerated shelf life tests, to evaluate the effects of temperature on reaction speed.

Please refer to the Appendix 2

Stage 6: Add accelerated ageing to your range of R&D tools

Once you have calculated the acceleration factor for a given product or product family (with similar characteristics and not modified) and a given set of acceleration conditions (T and RH), you can reuse it and **apply it to all accelerated ageing studies**.

Incorporating accelerated ageing into an eco-design process offers several advantages. It helps:

- **Reduce test times** by switching from several months of ageing to just a few weeks for simulating the compatibility of different packaging solutions with product shelf life goals.
- **Identify the product's barrier requirements precisely** by observing the effects of packaging barrier properties on product preservation to pinpoint the ideal barrier performance required.
 *Example from the product barrier requirements study – the water vapour barrier requirements for a cookie shelf life of six months is less than 10 g.m⁻².d⁻¹*
- **Optimise packaging to meet barrier requirements** by comparing test results with material permeability data. You can then choose packaging that is thinner, simpler, more recyclable, etc.

Accelerated ageing can fit in to your packaging optimisation process and is part of an overall **environmental impact reduction** strategy.

The goal of this protocol is to help you set up R&D projects by simulating the behaviour of product-packaging pairings over a shorter time period: **don't hesitate to share it with your teams!**

Appendix 1 – Calculating an acceleration factor

Example of calculating the acceleration factor for sliced bread

- Type of deterioration observed: alteration in weight (expressed in %)
- Storage temperatures/humidity: 20°C/30%RH and 35°C/10%RH
- Monitoring period and sampling: 26 days

Product ageing indicator monitored over time at normal and accelerated temperatures, with a zero-order linear reaction (Figures 1 and 2):

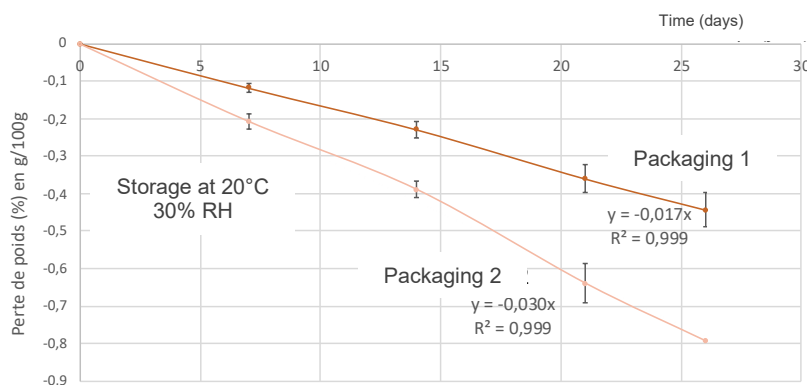


Figure1: Weight loss of the sliced bread in two different packaging solutions (1 and 2), stored under normal conditions: 20°C and 30% relative humidity (RH)

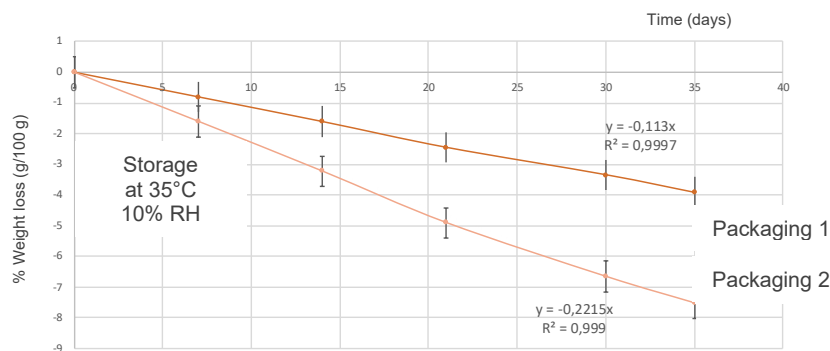


Figure2: Weight loss of the sliced bread in two different packaging solutions (1 and 2), stored under accelerated conditions: 35°C and 10% relative humidity (RH)

A comparison in weight loss between normal and accelerated conditions reveals that after 26 days of storage, the packaged sliced bread samples lost mass in normal (20°C) and accelerated conditions (35°C).

We can observe that more water was lost the when the temperature was higher and the humidity lower.

To calculate the acceleration factor, you need to use the following formula:

$$FA = \frac{y_{T^{\circ} \text{ accelerated}}}{y_{T^{\circ} \text{ normale}}}$$

y corresponds to the gradient of straight lines

The gradient of the product weight loss lines are:

- Product in packaging 1: at 20°C = 0.017%/d, and at 35°C = 0.113%/d
- Product in packaging 2: at 20°C = 0.03%/d, and at 35°C = 0.2215%/d

Under these conditions, sliced bread ageing is accelerated and the acceleration factor is as follows:

$$AF_{\text{Packaging 1}} = 0,113/0,017 = 6,6$$

$$AF_{\text{Packaging 2}} = 0,2215/0,03 = 7,4$$

We can conclude that the average acceleration factor for water loss in sliced bread under accelerated conditions is 7. **This means that a week of storage at 35°C/10%RH corresponds to 7 weeks of storage at 20°C/30%RH.**

The acceleration factor reflects both the higher temperature (faster reactions) and the lower humidity level in the storage chamber (faster dehydration).

Appendix 2 – Arrhenius model

The Arrhenius model is similar to the model for calculating acceleration factors. It is used in cases where only the storage temperature is changed (same humidity level in normal and accelerated storage conditions). This model lets you represent the reaction rate according to temperature.

The Arrhenius model is used to calculate activation energy (E_a).

The product's reaction rate $k(T)$ is calculated by the Arrhenius law as follows:

$$k(T) = k_0 \exp (E_a/RT)$$

Where: T = temperature, k_0 = coefficient, E_a = Activation energy, R = Ideal gas constant = 2 Cal.K⁻¹.mol⁻¹ in dry air.

Calculating activation energy based on shelf-life tests involving different temperatures lets you predict the reaction rate at any temperature within the range studied. This model is frequently used in company and laboratory R&D units for the shelf life of products that react to temperature changes and are not very sensitive to ambient humidity.

Eco-design R&D Department | Author: Florine Rollin | February 2026

This document is the property of Citeo. It is provided for information purposes only and does not constitute legal advice or recommendations. While every effort has been made to ensure that the information contained in this document is correct and up-to-date, Citeo accepts no liability for any errors or omissions. Citeo does not guarantee the continuity or completeness of the information contained in this document, particularly with regard to changes and regulatory interpretations in force, the state of the art and the EPR systems for household packaging and Graphic paper