

1.2. Objectifs de TOFoo

L'objectif global du projet collaboratif **True Organic Food** (TOFoo) est de :

**Garantir l'authenticité des produits biologiques
grâce à des outils innovants de contrôle analytique**

Plus précisément, cet objectif global peut être décliné en quatre sous-objectifs :

1. **Garantir** le respect des pratiques autorisées tout au long de la chaîne de production Bio,
2. **Renforcer** les moyens de protection en place aujourd'hui dans la filière Bio,
3. **Protéger** les acteurs économiques vertueux de la filière Bio,
4. **Accompagner** le dynamisme de long terme des filières Bio, en particulier sur les marchés extérieurs.

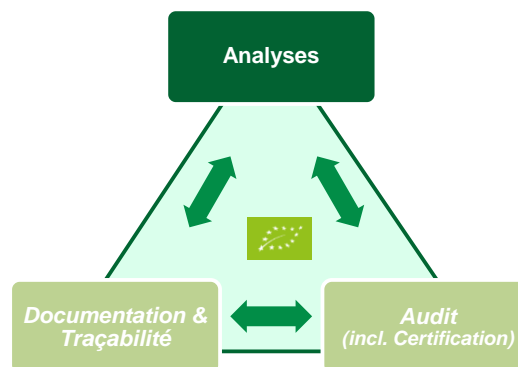


Figure 6 : Axe principal de travail de TOFoo dans le système de contrôle de l'AB

TOFoo se focalisera sur l'axe "Analyses" du système de contrôle de la filière biologique où les besoins sont les plus forts (cf. Figure 6 ci-contre). Les partenaires de TOFoo entendent atteindre ces objectifs grâce à la combinaison de multiples innovations, notamment : la mise au point d'une méthodologie non-ciblée d'analyse de laboratoire, l'application de technologies portables d'analyse sur les sites de production, le développement d'une méthode optique d'analyse des nanoparticules et celui d'une méthode de screening des additifs alimentaires.

1.2.1. Un double niveau de contrôle de l'authenticité des produits bio

A travers les différents produits et services qu'ils vont développer, les partenaires de TOFoo ont pour objectif de **combler les besoins analytiques non-satisfaits des acteurs de la filière de l'Agriculture Biologique**. Les outils innovants développeront intégreront l'arsenal à disposition des opérateurs Bio et des Organismes de Certification pour effectuer leurs contrôles.

Les solutions développées dans TOFoo renforceront la garantie d'authenticité des produits biologiques à travers un double niveau de contrôle (cf. Figure 7) :

- **Lors des plans de contrôle qualité et des audits, internes ou certifiants** : depuis plusieurs décennies, l'industrie agro-alimentaire a mis en place des plans de contrôles qualité par application de la méthode HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point). Des prélèvements sont régulièrement réalisés dans les matières premières ou les produits finis pour vérifier les paramètres qualité principaux, y compris l'authenticité des produits. Des analyses sur l'intégrité des produits biologiques pourront être incluses dans les plans de contrôle. De plus, lors des audits de certifications ou des audits internes aux industriels, des prélèvements pourront également être réalisés et envoyés en analyse.

Ces analyses, qui nécessiteront un haut niveau de fiabilité et de performance, s'appuieront sur les appareils à haute résolution (RMN, LC-HRMS, etc.) et seront réalisées par des laboratoires. Elles se fonderont sur une stratégie analytique non-ciblée multi-technique (cf. § 1.3.1), mais également d'autres types d'analyses innovantes telles que la détection et la quantification des nanoparticules et des additifs non-autorisés dans le bio.

- **Les contrôles *in situ* avec appareils portables** sur les sites de production (champs, usines) : des appareils analytiques portables seront utilisés pour tester les produits alimentaires bruts. Ces nouveaux systèmes ont l'avantage d'être facilement transportables (poids inférieur à 1 Kg) et d'être d'un prix modéré (de 5 k€ à quelques dizaines de milliers d'euro). Ils offrent la possibilité de réaliser des analyses déportées sur le terrain, par toute sorte d'utilisateurs peu ou pas qualifiés (enquêteur, industriel, agriculteurs, etc.) et à une fréquence beaucoup plus élevée que les appareils de laboratoire. Par exemple, plusieurs dizaines d'analyses sont possibles sur un réservoir de 25.000 L de lait, alors qu'un échantillonnage pour une analyse de laboratoire sera nécessairement moins représentatif.

Ces systèmes, même s'ils sont moins précis que les appareils de laboratoire, formeront une première ligne de contrôle. Ils délivreront des avertissements à destination des intervenants sur site ("**pré-alerte**"). Les produits en question seront ensuite prélevés et envoyés au laboratoire pour confirmation de leur authenticité avec la méthode de laboratoire décrite ci-dessus, très précise et fiable, mais difficilement transportable sur le terrain. Aujourd'hui, aucun système portable n'a encore été mis en place dans l'industrie agro-alimentaire, contrairement au secteur de la pharmacie pour le contrôle des matières premières, et au secteur judiciaire pour les contrôles de stupéfiants.

L'axe d'innovation que les partenaires de TOFoo poursuivront sur le contrôle *in situ* des produits bruts avec appareils portables reposera sur le développement de l'application de **spectromètres portables combinés Infra-rouge et Raman**. Ces appareils permettront de créer des bases de données centrées sur chaque fournisseur, puis de vérifier la constance de ses approvisionnements. Ces spectromètres pourront être utilisés aussi bien dans l'industrie que dans la distribution ;

La connaissance de marqueurs spécifiques des produits biologiques, si certains sont identifiés dans le cadre du développement des analyses non-ciblées, pourra aussi être utilisée et transférée à ces appareils portables pour fiabiliser les pré-alertes.

L'augmentation de la pression analytique aura pour effet d'une part de dissuader les fraudeurs, puisqu'ils sauront que des contrôles plus stricts seront mis en place, mais également de détecter des problèmes insoupçonnés ou inconnus, puis de mettre en place des plans d'actions correctives dans l'amont pour les résoudre. *In fine*, c'est **l'intégrité de la filière entière qui s'en trouvera améliorée**.

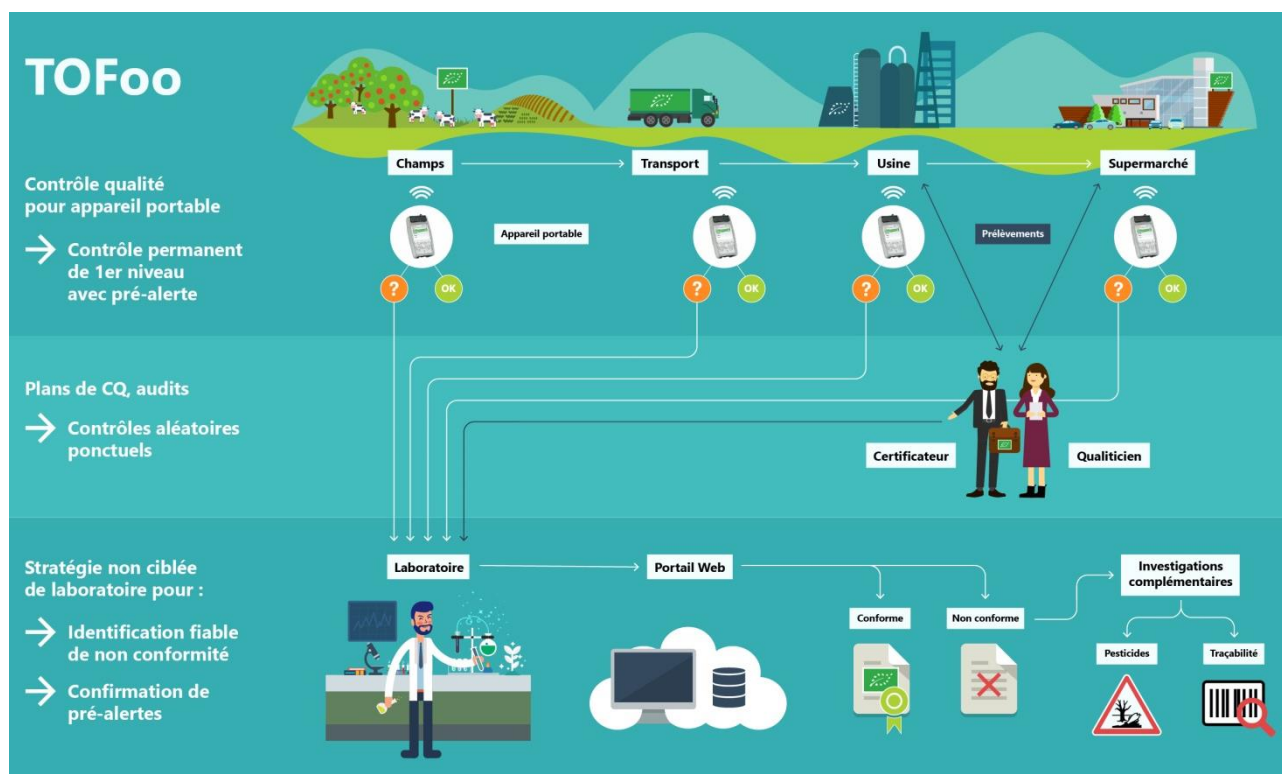


Figure 7 : Concept du contrôle de l'authenticité des produits biologiques avec les solutions TOFoo

1.2.2. Des stratégies analytiques innovantes pour combler les besoins non-satisfaits en authenticité des produits biologiques

Le croisement entre le double niveau de contrôle de l'authenticité des produits biologiques et des matrices alimentaires sélectionnées a permis de déterminer les stratégies analytiques qui allaient être suivies dans le cadre du projet. L'objectif est d'aboutir à des outils innovants qui puissent apporter un réel changement dans les pratiques des opérateurs de la filière. Ces stratégies sont illustrées dans la Figure 8.

En ce qui concerne les **produits alimentaires bruts**, **l'approche laboratoire** va inclure le développement de méthodes multi-techniques non-ciblées de vérification de l'authenticité des produits biologiques. Elles se fonderont sur des équipements de laboratoire à haute résolution (RMN, LC-HRMS, LC-HRMS, etc.). Elles apporteront une réponse fiable sur le caractère authentiquement biologique des produits. **L'approche in situ** se fondera elle aussi sur une méthode non-ciblée pour détecter des anomalies et générer des pré-alertes, mais elle utilisera des appareils d'analyse portables, tels que des spectromètres combinés Raman / infra-rouge.

Dans le cas des **produits transformés**, seule une stratégie ciblée sera suivie, à destination d'équipements de laboratoires. Elle concernera la détection des nanoparticules dans les plats préparés, les confiseries et la filière Boulangerie Pâtisserie, dans lesquels ces produits se retrouvent fréquemment, ainsi que la détection et la quantification des additifs interdits dans le bio ("screening Additifs").

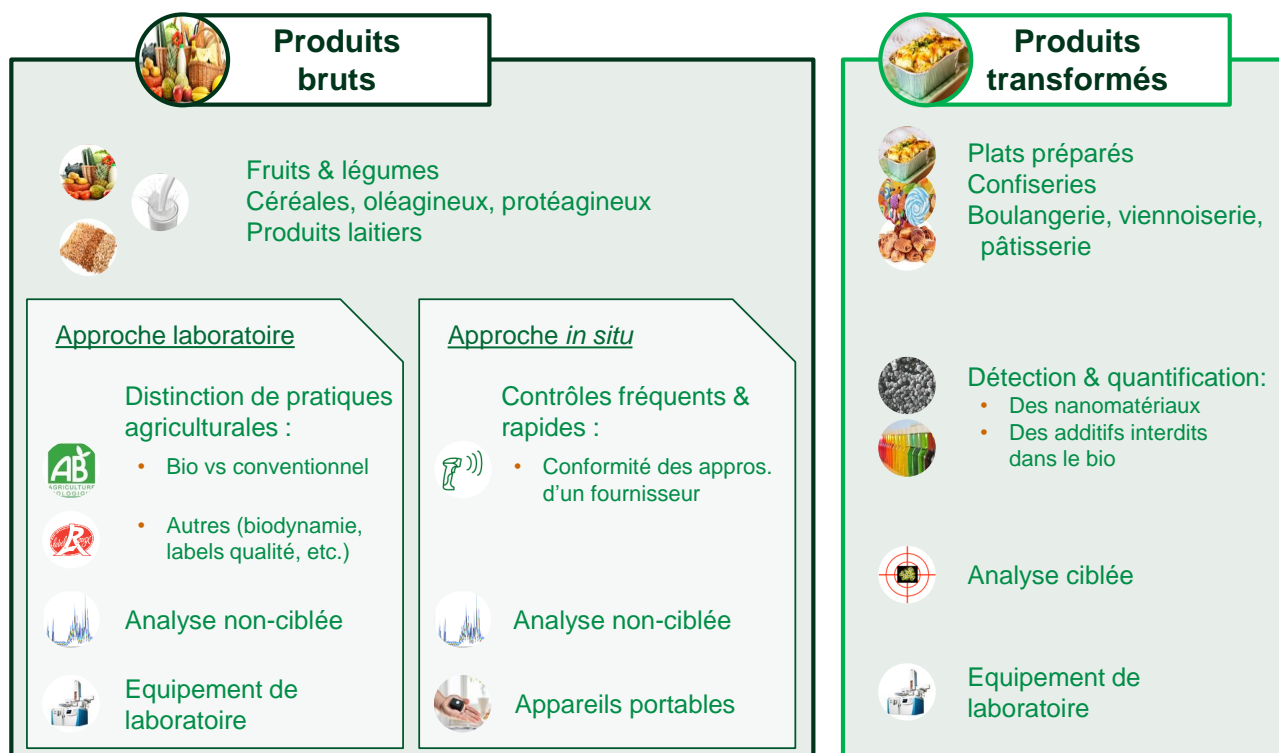


Figure 8 : Synthèse des stratégies analytiques de TOFoo

1.2.3. Ciblage des produits alimentaires végétaux et laitiers

Les travaux de TOFoo vont se focaliser sur les **produits alimentaires végétaux** (fruits, légumes, céréales, oléagineux et protéagineux) ainsi qu'un type de produit animal : les **produits laitiers** (cf. Tableau 4).

Ces familles de produits alimentaires sont consommées très largement en version biologique [39]. Ils représentent plus de la moitié du marché biologique français. Dans le cas des produits végétaux, les pratiques agricoles sont différentes entre le bio et le conventionnel. L'agriculture biologique se caractérise notamment par une absence de produits chimiques de synthèse (leur usage est interdit), par une utilisation de variétés spécifiques ou encore par des techniques culturales comme la rotation des cultures. Il sera donc a priori plus aisé de démontrer une différence entre ces deux groupes. De plus, d'autres gammes intermédiaires de pratiques agricoles existent, telles que l'agriculture raisonnée ou les "zéro résidus de pesticides" et "zéro intrant chimique". Cela permettra d'affiner les outils analytiques et de donner plus de poids aux marqueurs chimiques qui seront identifiés. En ce qui concerne les céréales, oléagineux et protéagineux, un risque plus important de contamination croisée existe dans ces filières. Ce sont en effet des produits granulaires, faciles à mélanger. Il est donc important de disposer d'outils permettant de vérifier leur authenticité. Enfin, le lait présente un réel besoin d'authenticité, car outre le fait que le lait de différentes fermes (origines) est très souvent mélangé pour constituer des lots, les analyses actuelles de résidus de pesticides ne montrent que de très rares contaminations au-delà des LMR autorisées (1 contamination sur 101 échantillons testés par l'EFSA en 2017 [40]). La recherche des résidus de pesticides dans les lots de lait pourrait alors ne pas être pertinente pour différencier lait conventionnel et lait biologique.

Les produits alimentaires mentionnés dans les deux colonnes "Exemples de produits cible" du Tableau 4 sont donnés à titre indicatifs à ce stade. Une tâche a été prévue dans les deux premiers mois du projet pour déterminer précisément quels produits alimentaires seront inclus dans les premiers Runs de travaux (Tâche T0.2.1, cf. fiches descriptives des lots de travaux § 3.2.3). Les critères de sélection incluront des critères économiques (taille du marché, croissance), l'existence de risques particuliers (manque d'outils de contrôle), l'état de l'art analytique et la capacité du consortium à recueillir des échantillons.

Seuls les produits bruts (fruits entiers, légumes, grains de céréales, lait liquide) ou faiblement transformés (purées de fruits et légumes, etc.) seront étudiés. En effet, la transformation des produits alimentaires induit des modifications compositionnelles profondes, de même que des mélanges d'ingrédients, qui rendent plus difficile la preuve de leur authenticité. Il est prévu de travailler sur les produits bruts dans la première partie du projet afin de s'affranchir des biais potentiels de la transformation. Les produits faiblement transformés seront étudiés dans un deuxième temps, afin de bénéficier de la connaissance sur les produits bruts.




Les produits carnés ont été exclus du périmètre du projet, d'une part car ils présentent des caractéristiques physico-chimiques très différentes des produits végétaux et laitiers, donc des problématiques analytiques distinctes, d'autre part car il existe aujourd'hui une meilleure traçabilité le long de cette filière, allant jusqu'à la bête. Le besoin de méthodes d'authenticité analytiques est donc moins fort.

Il est à noter que des **sponsors industriels** soutiennent chaque famille de produits. Les sponsors sont des industriels de l'agro-alimentaire qui utilisent les familles de produits dans leurs activités quotidiennes et qui soutiennent le développement de méthodes d'authenticité. Les sponsors ont signé une lettre de soutien. Ils feront partie du Comité de Filière, qui portera un regard critique sur les travaux réalisés tout au long du projet. Ils contribueront également en mettant à disposition leurs connaissances sur les matrices alimentaires et en facilitant la collecte d'échantillons de référence pour la constitution des bases de données.

Il est à noter enfin que les travaux sur la détection des nanomatériaux et des additifs alimentaires couvrent les **produits transformés**.

Le fait de travailler sur une grande variété de produits alimentaires est considéré comme un gage de succès pour le projet par les partenaires. Malgré le surcroît de travail que cela représente, la probabilité qu'une méthode d'analyse fonctionne sur au moins une des familles est plus grande. L'expérience gagnée sur une matrice alimentaire peut aussi être utile sur une autre, ce qui permet des gains de productivité quand le travail sur une nouvelle famille démarre. La justification de ce choix, que le Comité de Sélection du programme PSPC avait demandé d'approfondir, est détaillée au § 3.2.1.2.4 Un spectre large de matrices pour augmenter les chances de succès, page 77.

Tableau 4 : Matrices alimentaires étudiées dans la stratégie non-ciblée de TOFoo

Familles	Exemples de produits cible		Raisons du choix	Sponsors
	2019-2021	2022-2024		
Fruits & Légumes	Fruits bruts : pommes, fruits rouges (fraises), fruits jaunes (pêches), raisin	Purée de fruits	Produits de grande consommation	
	Jus (agrumes)	Vin	Culture bio / conventionnel très différentes	
	Légumes bruts: épinards, carottes, PdT	Légumes faiblement transformés	Présence de gammes "0 résidu", "0 intrant chimique"	
Céréales, oléagineux, protéagineux	Blé, tournesol, soja	Farine, huiles, jus végétaux, tofu	Risques de contaminations croisées	
Lait	Lait vache, brebis, chèvre	Produits laitiers	Manque de solution analytique	

1.3. Produits, services ou solutions visés par le projet

1.3.1. La solution non-ciblée de laboratoire TOFoo : une stratégie cloud multi-technique

Le cœur du projet TOFoo est de développer un **nouveau service d'authenticité des aliments afin de vérifier que le mode de production du produit testé est bien biologique**. Ce service sera fondé sur une stratégie analytique dite non-ciblée (cf. § 2.1.1.1) :

- A partir d'un échantillon à tester, son **empreinte analytique sera enregistrée avec plusieurs appareils d'analyse**, utilisant plusieurs techniques différentes telles que la RMN, la LC-HRMS ou encore la GC-HRMS. Ces appareils, de très haute performance, permettront d'obtenir de l'information analytique avec une grande finesse. Un des enjeux du projet est justement d'améliorer la performance des appareils afin d'augmenter la quantité et la qualité des informations disponibles.
- Les **données analytiques** ainsi acquises seront ensuite fusionnées, envoyées sur un portail Web et **traitées grâce à des modèles statistiques**. Deux grandes classes d'outils seront mis en œuvre, d'une part un ensemble d'outils de classification et/ou de discrimination (techniques multivariées supervisées et non supervisées), d'autre part des développements intégrant des algorithmes du domaine de l'intelligence artificielle (machine learning) pour fiabiliser la prise de décision lors de l'authentification des produits grâce à la prise en compte de métadonnées collectées et stockées dans les bases de données.
- Les modèles statistiques auront été construits au préalable grâce à une **base de données de référence**, constituée des données analytiques de plusieurs milliers d'échantillons représentatifs du marché, acquises avec la même stratégie analytique au fur et à mesure du projet.
- Le résultat final aboutira la **génération d'un bulletin d'analyse**, qui indiquera si le produit est conforme avec une certaine probabilité (cf. Figure 9).

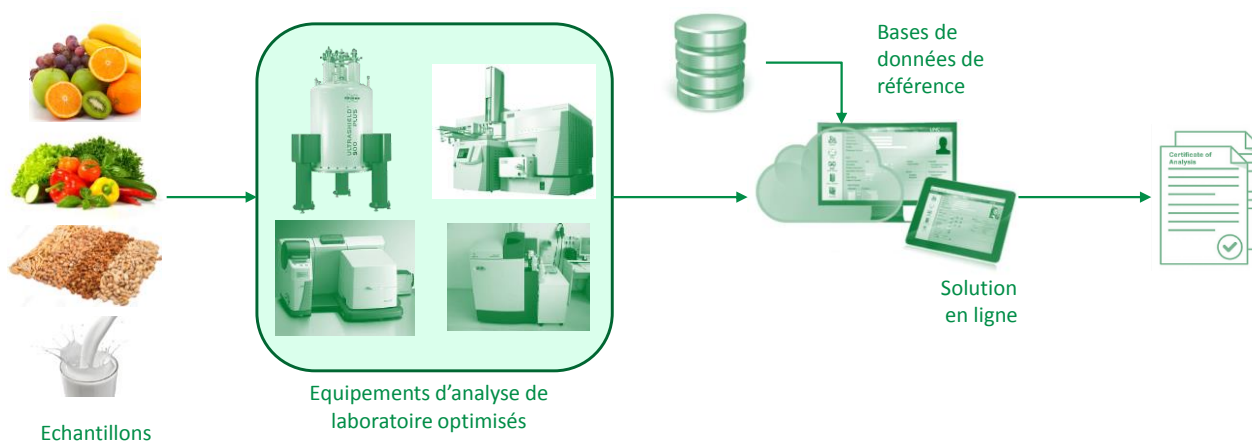


Figure 9 : Schéma du service non-ciblée d'authenticité des produits bio issus de TOFoo

Cette stratégie analytique, en combinant l'analyse multi-technique des aliments avec des appareils à haute résolution et un traitement chimiométrique capable de prendre en compte l'essentiel de la variabilité physicochimique des échantillons dans le temps, a le potentiel de visualiser la **proximité statistique d'un échantillon par rapport à plusieurs groupes de référence**, correspondant aux modes de production agronomiques (conventionnel, raisonné, biologique, etc. cf. Figure 10).



Figure 10 : Potentiel de différenciation de la stratégie analytique non-ciblée TOFoo

Le caractère biologique d'un aliment pourra ainsi être vérifié de manière beaucoup plus approfondie qu'avec les outils actuels d'analyse :

- L'échantillon sera comparé avec la **réalité des produits biologiques**, au travers de la base de données de référence de plusieurs milliers d'échantillons, couvrant toute la gamme des modes de production du conventionnel jusqu'au biologique ;
- L'analyse couvrira **complètement le mode de production de l'agriculture biologique**, et pas seulement l'une de ses facettes comme avec les pesticides ou les OGM, car l'information qui servira à conclure sera la composition chimique du produit, reflet de son mode de production. Ainsi tout écart par rapport à une référence sera détectable ;
- L'ensemble de l'échantillon sera analysé **de manière holistique**, et pas seulement via une famille de composés, comme les pesticides ou les acides gras, par exemple ;
- Enfin, la **stratégie analytique non-ciblée** permettra de détecter tout type d'anomalie, même celles qui n'auraient jamais été rencontrées auparavant, car elles seront vues comme des différences par rapport à un groupe de référence.

Comme dans toute méthode d'analyse, il existera nécessairement une marge d'incertitude dans le résultat de l'analyse non-ciblée TOFoo, correspondant à l'intervalle de confiance statistique que l'on souhaitera se donner (95 %, 99 % ou plus). Celle-ci sera réduite le plus possible par la quantité et la diversité des échantillons qui constitueront la base de données de référence et la grande dimension de cette dernière.

Ce service donnera aux opérateurs Bio et aux organismes certificateurs un **nouvel outil pour vérifier le respect du cahier des charges de l'agriculture biologique**. Il pourra être inclus dans les plans de contrôle réguliers de l'industrie agro-alimentaire et pourra être utilisé en cas de doute sur un produit, soit en auto-contrôle soit dans le cadre des audits de certification. Il servira également à confirmer les pré-alertes détectées *in situ* avec les appareils portables. Il complètera ainsi les informations de traçabilité et d'audit afin d'avoir une appréciation la plus juste possible de l'authenticité d'un lot de produit biologique (cf. Figure 3). En perspective, la présence des données dans un serveur web permettra aussi l'intégration des données dans des systèmes de traçabilité interne aux entreprises, ou bien partagés au sein d'une filière entière (travail toutefois exclu du périmètre de TOFoo).

Les services seront disponibles sous deux formes :

- **Modèle externalisation** : l'utilisateur final enverra des échantillons à analyser à Eurofins, qui réalisera la prestation et lui enverra le certificat d'analyse ;
- **Modèle internalisation** : l'utilisateur final possède un laboratoire interne, qu'il aura équipé avec les appareils analytiques nécessaires. Il réalisera les analyses lui-même. Puis les données seront envoyées sur le portail Web, où elles seront traitées. Le certificat d'analyse sera délivré par le portail.

1.3.2. Des équipements de laboratoires innovants pour des performances optimisées

La mise en œuvre des stratégies analytiques décrites plus haut pour vérifier l'authenticité des produits biologiques nécessitera d'augmenter les performances des appareils d'analyse pour maximiser l'information analytique enregistrée. En effet, plus il sera possible d'acquérir d'informations et plus ces informations seront fines, plus les modèles statistiques auront d'éléments à disposition pour faire la différence entre les produits bio et conventionnels, mais également entre les autres différents modes agronomiques. Une attention particulière sera portée à la productivité des appareils, directement liée au prix de revient des analyses et donc à la rapidité de leur déploiement commercial.

Ainsi, un **nouveau composant d'appareils d'analyse de laboratoire sera développé**, une sonde RMN multi-noyaux. De plus, des **technologies d'analyse émergentes seront testées** dans le domaine de l'authenticité des produits biologiques. Si elles apportent un gain réel dans la distinction des produits bio et conventionnels ou dans l'augmentation du débit d'analyse, ces technologies seront incluses dans les stratégies analytiques non-ciblées du futur service de laboratoire d'authenticité des produits bio. Ainsi, des **configurations applicatives « Bio »** seront mises au point sur les appareils de laboratoire, dont l'objectif sera de garantir un niveau de performance minimal dans l'authentification des produits biologiques aux futurs utilisateurs.

[...]

1.3.3. Plateforme cloud de gestion de ses propres analyses non-ciblées

Le service d'authenticité des produits biologiques non-ciblés va nécessiter la mise en œuvre d'un service informatique qui collectera les données de mesure issues des appareils d'analyse, puis appliquera le modèle statistique propre à la matrice alimentaire testée. Un service complémentaire, qui s'appuiera sur l'infrastructure informatique et logicielle mise en place, sera développé dans TOFoo : une **plateforme cloud de gestion de ses propres analyses non-ciblées par les utilisateurs eux-mêmes**.

Ce service a pour objectif de faciliter la mise en œuvre des analyses non-ciblées au sein de la communauté des laboratoires d'analyse, internes ou externes, que ce soit en alimentation ou dans d'autres secteurs. En effet, ce type d'analyse est complexe à construire actuellement. Elles nécessitent une excellente connaissance des techniques d'analyses, la manipulation des données brutes, la maîtrise des modèles statistiques et l'utilisation de logiciels de calcul, tels que Matlab. C'est une des raisons qui ont limité leur démocratisation jusqu'à présent. Le but de la plateforme est de proposer une solution pour pallier ces difficultés. Ainsi, la plateforme permettra :

- **D'envoyer et stocker les données de mesure** issues des échantillons analysés avec les équipements de laboratoire utilisés dans TOFoo (RMN, GC-MS, LC-MS, IRMS, spectromètres IR ou Raman). La plateforme deviendra alors une véritable datasource permettant de stocker, référencer et d'accéder à toutes les données de mesure. ;
- **D'accéder à un premier niveau de restitution** où des modules de visualisation permettront de consulter les données simplement et sans connaissance technique. Il s'agit de fournir un premier niveau de service ne nécessitant qu'un navigateur web et un compte sur la plateforme (cf. l'exemple de la Figure 11). Ce type de services pourra comprendre la consultation et la comparaison d'un spectre avec l'historique et/ou avec un spectre « témoin », la recherche automatisée de spectres similaires, ou encore l'application de fonctions de transformations (nettoyage, transformée de Fourier, etc.).
- **De construire et stocker des modèles d'analyse non-ciblée** grâce à des outils de traitement statistiques des données, en particulier à ceux qui auront été développés dans le cadre du projet et qui seront appliqués pour l'authenticité des produits biologiques. L'approche est la même que précédemment : fournir aux utilisateurs des outils simples de transformation de leur donnée sans logiciel ni compétences spécifiques.

- **D'appliquer ces modèles** aux données issues des échantillons que les utilisateurs auront analysés dans leur propre laboratoire.

Les **utilisateurs seront ainsi rendus autonomes dans la réalisation de leurs analyses non-ciblées**. Ils pourront créer leurs propres modèles, sur les échantillons qu'ils veulent, et sans investissement autre que celui des appareils d'analyses, qu'ils auront déjà certainement dans leurs laboratoires.



Figure 11 : Capture d'écran d'un tableau de bord web permettant le suivi de données sur une chaîne de collecte de données issues de l'agriculture

La plate-forme est techniquement une solution informatique qui stocke et restitue les données collectées par les appareils de mesure. Elle sera constituée d'une solution de persistance des données, d'une application de restitution, d'une API et d'un module de gestion des accès aux données. Il est question de plateforme car il s'agit de gérer les données sous forme "brute", c'est à dire telle qu'elles sont stockées (en fonction de la structuration efficiente étudiée et implémentée dans le Lot 2) de telle sorte que les clients de la plateforme pourront utiliser ces accès pour intégrer les données dans toute autre application (ou système d'information) de leur choix sans qu'il soit nécessaire de les transférer pour les injecter dans celles-ci.

Cette plateforme sera destinée à devenir la référence en matière d'analyse non-ciblée. D'une part, la richesse de ses fonctionnalités et sa facilité d'utilisation en feront l'outil incontournable de toute personne souhaitant développer des modèles non-ciblés. D'autre part, les protocoles et mode opératoires fournis avec la plateforme permettront une harmonisation des pratiques dans ce domaine, qui vont faciliter l'intercomparaison des résultats et au final, l'acceptation de la technologie des analyses non-ciblées dans le contrôle qualité.

1.3.4. Les appareils portables comme outils de screening et de routage des matières premières

[...]

1.3.5. Un appareil de mesure des nanoparticules par interférométrie

[...]

1.3.6. Un screening des additifs synthétiques interdits dans le bio

[...]

1.4. Marché visé : le marché de l'intégrité alimentaire

1.4.1. Un segment dynamique du marché de l'analyse

Le marché ciblé par les produits et services issus de TOFoo est celui des **solutions analytiques d'authenticité alimentaire pour l'industrie agro-alimentaire et la grande distribution**.

Le projet vient répondre à la problématique, pour ces acteurs, de commercialiser un produit conforme à ce qu'il est censé être sur l'étiquette. Il s'agit d'une obligation générale applicable à tout opérateur alimentaire d'après la réglementation européenne Food Law (règlement CE n°178/2002 [45]). Dans le cas de l'intégrité alimentaire, l'obligation de l'assurer a été inscrite dans les principaux référentiels qualité en place dans l'industrie agro-alimentaire (GFSI, IFS, BRC, etc.). En outre, les produits biologiques sont certifiés selon un référentiel spécifique et possèdent une marque distinctive sur leurs emballages. Les industriels et distributeurs ont donc besoin de solutions précises pour s'assurer de l'authenticité des produits et du respect des cahiers des charges qu'ils suivent. Comme cela est expliqué sur la Figure 3 (cf. § 1.1.2, p. 8), les IAA ont mis en place des plans de contrôle qualité pour se conformer à cette obligation. Ils reposent sur trois piliers, dont l'un est celui des contrôles analytiques.

Le marché de l'intégrité alimentaire est **l'un des segments les plus dynamiques** du marché de l'analyse alimentaire en général (cf. Figure 15). Sa croissance sur la période 2016-2022 est estimée à 7,4 % en moyenne (source : Frost & Sullivan). Les tendances de fond qui soutiennent cette forte croissance sont :

- La demande des consommateurs de produits les plus sains et les plus authentiques possibles ;
- Les scandales alimentaires récents, tels que la crise de la mélamine en Chine (2007), le scandale de la viande de cheval (2012) et les différentes affaires dont les médias se font l'écho régulièrement ;
- Les conséquences lourdes (perte de réputation ou de chiffre d'affaires, sanctions financières et pénales, etc.) que peut faire peser tout problème d'authenticité, non seulement sur les acteurs incriminés, mais aussi sur les filières touchées ;
- La complexité toujours croissante des chaînes d'approvisionnement, qui rendent la visibilité sur l'origine des approvisionnements et les relations clients fournisseurs plus éloignées, et qui induisent davantage de contrôles.

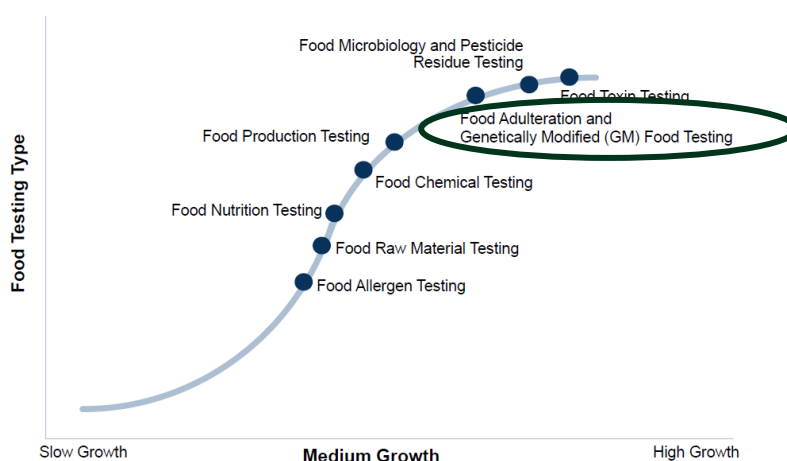


Figure 15 : Marché de l'instrumentation analytique dans le domaine alimentaire.
Cycle de croissance des applications (source : Frost & Sullivan)

1.4.2. Un secteur à double enjeu

Le marché de l'intégrité alimentaire se subdivise en deux segments, qui correspondent au choix stratégique que les opérateurs agro-alimentaires peuvent faire pour réaliser les contrôles analytiques :

- Soit faire appel à un laboratoire externe pour réaliser les analyses, ce qui donne naissance au segment intitulé « Laboratoire » ;
- Soit monter son propre laboratoire interne et s'équiper des appareils nécessaires pour tester ses produits, ce qui forme le segment « Instrumentation ».

L'estimation de ce marché, réalisée par Eurofins et Thermo Fisher, indique une valeur de 160 millions d'euros pour l'Europe en 2016. Le segment Laboratoire est évalué à 50 millions d'euros, soit un peu moins d'un tiers du marché, et celui de l'instrumentation à 110 millions d'euros (cf. Figure 16).

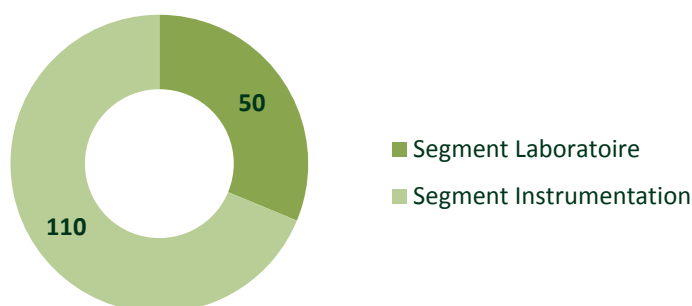


Figure 16 : Estimation des segments du marché de l'authenticité alimentaire en Europe, en million d'euros (2016)

Dans le segment **Laboratoire**, quelques acteurs de taille internationale, tels qu'Eurofins ou Intertek, qui possèdent une offre large et variée ainsi qu'un réseau de laboratoires dans différents pays européens, émergent au milieu de nombreux autres laboratoires locaux, de petite taille mais avec un savoir-faire spécialisé. Ces derniers sont souvent basés en Allemagne. Nous pouvons citer Tentamus / QSI, spécialisé dans les produits apicoles, ou encore Agrolsolab, qui possède une grande maîtrise des analyses isotopiques. Le Tableau 5 synthétise les principales informations sur les différents acteurs de ce marché.

Tableau 5 : Acteurs du marché de l'authenticité alimentaire, segment Laboratoires

Nom	CA Authenticité	PdM UE (est.)	CA Groupe	Pays	Caractéristiques
Eurofins	8 M€ (+8 % vs 2017)	16 %	3.8 Mds€	FR	Spécialiste historique avec offre étendue. Réseau mondial de laboratoires
Intertek	6 M€	12 %	3.2 Mds€	UK	Réseau mondial, présent seulement sur authenticité miel
Tentamus / QSI	4 M€	8 %	n.d.	DE	Acteur spécialisé sur le miel
Agrolsolab	3 M€	6 %	n.d.	DE	Acteur spécialisé dans les jus de fruits, axé sur l'isotopie
GfL	3 M€	6 %	n.d.	DE	Acteur spécialisé dans les jus de fruits
Chelab	3 M€	6 %	n.d.	DE	Acteur spécialisé dans les jus de fruits
Food Forensics	1.5 M€	3 %	n.d.	UK	Spécialisé dans l'origine géographique en isotopie
Imprint Analytics	1 M€	2 %	n.d.	AT	Fondé en 2013, axé sur l'isotopie

Sur le segment **Instrumentation**, les principaux acteurs sont des fournisseurs d'équipements analytiques tels qu'Agilent, Shimadzu ou Foss (cf. Tableau 6). Ce sont des entreprises de grande taille, internationales, qui possèdent une expertise dans une ou plusieurs techniques d'analyse. Dans le domaine de l'authenticité alimentaire, ils proposent des appareils généralistes qui sont ensuite appliqués par les clients en authenticité alimentaires. Deux exceptions existent cependant : les sociétés Thermo Fisher et Bruker, qui ont développé une offre spécialement ciblée sur l'authenticité alimentaire.

Tableau 6 : Acteurs du marché de l'authenticité alimentaire, segment Instrumentation

Nom	CA Auth.	PdM UE (est.)	CA Groupe	Pays	Caractéristiques
Thermo Fisher	~ 135 M€ (+15 % vs 2017)	75 %	21 Mds €	USA	Large gamme sur quasiment toutes les techniques d'analyse, référence en authenticité. Présence mondiale
Bruker	~ 5 M€	3 %	1.6 Mds €	DE	Spécialiste RMN. Pionnier dans le couplage authenticité et instruments
Agilent	n.d.	n.d.	5.4 Mds \$	USA	Gamme large et présence internationale. Spécialisation dans la chromatographie et l'ICP-MS
Sciex	n.d.	n.d.	n.d.	USA	Gamme large et présence internationale. Acteur historique de la spectrométrie de masse. Appartient au groupe Danaher
Shimadzu	n.d.	n.d.	3.5 Mds \$	JP	Très dynamique. Gamme étendue, forces sur la chromatographie et la spectroscopie. Présence forte en Asie
Waters	n.d.	n.d.	2.3 Mds \$	USA	Gamme large et présence internationale. Spécialisation dans la chromatographie et la spectrométrie de masse
Foss	n.d.	n.d.	300 M€	DK	Spécialisation dans la spectroscopie infra-rouge

1.4.3. Vers des solutions intégrées d'authenticité, mais pas encore dans le bio

Les acteurs des deux segments de marché **interagissent peu jusqu'à présent**. Les laboratoires ont développé leur propre savoir-faire sur la base de leurs compétences et d'équipements généralistes. D'autre part, les équipementiers ont fourni des appareils aux laboratoires sans développer de solution complète d'authenticité, intégrée et simple à utiliser pour les utilisateurs finaux. Un industriel intéressé par des contrôles d'authenticité doit donc soit monter son propre laboratoire, acquérir le savoir-faire nécessaire et développer les méthodes nécessaires, soit passer par un laboratoire externe.

Toutefois, une exception notable d'offre intégrée en authenticité est à mentionner : le **système FoodScreener de Bruker** [46]. Cette solution permet de réaliser des analyses d'authenticité par RMN sur des matrices telles que le miel, le vin et les jus (cf. Figure 17). Elle se compose d'un spectromètre RMN, d'appareils de préparation automatique d'échantillons et de protocoles standardisés. Les données analytiques sont enregistrées par le spectromètre, puis envoyées sur un serveur de Bruker, où des traitements statistiques ciblés et non-ciblés sont réalisés. Ces derniers s'appuient sur des bases de données de référence d'échantillons authentiques. Enfin, le certificat d'analyse est généré et envoyé informatiquement au client.

Le FoodScreener est l'exemple qui illustre le **rapprochement que les deux segments du marché** de l'authenticité vont être forcés de réaliser pour continuer à développer ce marché. Il montre qu'une solution intégrée est possible, qui simplifie et standardise les procédures, et rend l'utilisateur final capable de

réaliser lui-même son analyse d'authenticité. Il démontre aussi la faisabilité d'une analyse déportée : l'enregistrement des données est fait chez le client, le traitement statistique et l'interprétation sont réalisés informatiquement à un autre endroit. Ces deux caractéristiques sont importantes pour le modèle d'affaire de TOFoo, qui s'inspire de celui du FoodScreener.

Toutefois, le FoodScreener possède deux limites actuellement : il est limité à une seule technique d'analyse, la RMN. De plus, il ne permet pas de vérifier le caractère biologique d'un aliment.

Solutions d'analyse alimentaire par RMN pour le miel, le vin et les jus

Détection rapide et rentable de la fraude ou de la mauvaise caractérisation d'un contenu ou d'une origine - comment les solutions d'analyse alimentaire de Bruker vous aident à analyser la qualité mais aussi l'authenticité sur la base du profil 1H-NMR.



Wine-Profiling



Honey-Profiling



Juice-Profiling

Figure 17 : Solution FoodScreener de Bruker

D'autres solutions techniques peuvent encore illustrer la convergence des deux segments de laboratoire. Nous pouvons citer en premier lieu l'appareil **Milkoscan**, de la société Foss [47]. Il s'agit d'un spectromètre infra-rouge qui permet de faire des analyses sur une matrice unique, très standardisée : le lait. Cette solution complète intègre l'appareil analytique et le logiciel de traitement des données, en local. Son avantage est d'avoir été construit en vue d'une utilisation par les laboratoires internes des industriels de la filière laitière. Il ne nécessite pas de posséder des compétences ou un savoir-faire complexes et spécifiques. Toutefois, cette solution se limite aux paramètres de composition du lait (matière grasse, protéines pour le lait, etc.). Elle ne permet de faire de l'authenticité qu'à très faible échelle (détection de fraudes classiques telles que le mouillage, l'addition d'eau au lait, ou l'éventuel ajout de composés interdits en vue d'améliorer sa qualité).



Figure 18 : Appareil Milkoscan, produit par la société Foss

Des innovations ont également lancées ces dernières années dans le domaine des appareils portables en vue de faciliter les analyses d'authenticité. De petits spectromètres ont été développés, qui permettent de scanner un produit et de voir le résultat de l'analyse apparaître sur son téléphone portable. Le SCiO, produit par la société israélienne Consumer Physics, est l'exemple le plus avancé [48]. Il s'agit d'un petit spectromètre infra-rouge, qui tient aisément dans la main (cf. Figure 19).

Cet appareil commence à trouver sa place dans un certain nombre de secteurs. En particulier, une application à la détermination de la qualité nutritionnelle des fourrages a été développée. Elle est appréciée des éleveurs, car elle leur permet une action directe en fonction du résultat : il va pouvoir adapter la ration alimentaire de ses animaux, juste avant de leur donner, en fonction de la qualité du fourrage et de l'état de santé de ses bêtes.

Techniquement, la solution SCiO s'appuie sur une plateforme informatique qui permet de stocker les spectres provenant de l'utilisateur lui-même, mais également d'utiliser des bases générées par le fabricant Consumer Physics. Elle abrite un environnement de traitement statistique des données, qui permet aux utilisateurs de créer leurs propres modèles d'analyse. Ces modèles sont ensuite utilisés pour tester des échantillons inconnus grâce au spectromètre SCiO et à l'application mobile éponyme.

Des applications en authenticité alimentaire vont peut-être voir le jour avec cette technologie. Toutefois, elles resteront probablement limitées, d'une part parce que la technologie ne s'appuie que sur une seule technique d'analyse, la spectrométrie infra-rouge. D'autre part, la qualité générale des composants optiques d'un appareil aussi miniaturisé ne sera probablement pas suffisante pour l'authenticité, qui nécessite une grande résolution pour capter des informations très fines sur les échantillons.



Figure 19 : Spectromètre portable SCiO et exemple d'interface de rendu des résultats

L'apparition récente de solutions innovantes sur le marché de l'authenticité alimentaire a dynamisé ce secteur, dont les deux segments principaux, les laboratoires et les équipementiers, collaboraient peu jusqu'alors. Ces solutions démontrent la faisabilité technique et économique des produits et services développés dans TOFoo. Toutefois, aucune de ces solutions innovantes ne permet aujourd'hui de vérifier l'authenticité des produits biologiques, ce à quoi tend le projet TOFoo.

1.4.4. Évaluation des marchés cible et position escomptée des partenaires

Les produits et services qui résulteront du projet TOFoo s'inséreront dans le marché de l'intégrité alimentaire. Six catégories de produits et services sortiront du projet.

Prestation d'analyse d'authenticité de produits biologiques – Segment externalisation (P1) : ce service sera produit dans les laboratoires d'Eurofins Analytics France (réception des échantillons, analyse). Le système d'information qui permettra le traitement statistique des données d'analyse, sur la base des modèles élaborés par UniLaSalle, et l'envoi des bulletins sera réalisé soit directement dans la plateforme cloud exploitée par Atol C&D, soit dans une version intégrée au système d'exploitation des laboratoires Eurofins. EAF s'équipera avec les instruments nécessaires auprès de Thermo Fisher. De son côté, EAF prendra en charge la mise à jour et l'extension géographique des bases de données de produits de référence qui sous-tendent le service.

La commercialisation sera réalisée par les forces de ventes d'Eurofins en France et en Europe, qui possèdent déjà des liens directs avec les futurs clients, c'est-à-dire les industriels de l'agro-alimentaire et les distributeurs alimentaires. Dans le cas de ventes par des laboratoires étrangers, le mécanisme de ventes Interco sera utilisé, comme c'est déjà le cas pour l'ensemble du portefeuille d'analyses de tous les laboratoires du groupe Eurofins.

La valeur de l'analyse facturée au client sera répartie entre les acteurs selon leur contribution au service.

Selon les hypothèses d'attrition (cf. § 3.2.1.2 p. 72), il est prévu que, en tout, 8 méthodes d'analyse non-ciblées soient lancées commercialement, à chaque fois sur un produit alimentaire différent, brut ou faiblement transformé. Le calendrier de lancement des méthodes d'analyse est décalé dans le temps de la même manière que le sont les runs d'analyse. Les différentes dates de lancement sont ainsi résumées dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Hypothèses de lancement commercial des méthodes d'analyse non-ciblées d'authenticité des produits biologiques

Famille de produit	Produit	Année de lancement
Fruits ou Légumes	Produit brut 1	2023
	Produit transformé 1	2024
Produits laitiers	Produit brut 2	2023
	Produit transformé 2	2025
Céréales	Produit brut 3	2023
	Produit transformé 3	2025
Non défini (back-up)	Produit brut 4	2024
	Produit transformé 4	2025

Le périmètre géographique du service est l'Europe. La couverture de cette zone se fera graduellement dans le temps, car il faudra que la base de données de référence couvre les zones dans lesquelles le service est actif. Ainsi, trois périmètres géographiques croissants, qui correspondent aux principaux marchés des produits alimentaires en Europe, seront couverts successivement :

- France : ce sera le périmètre de base l'année du lancement de la méthode,
- Extension à l'Allemagne et au Royaume-Uni l'année qui suit celle du lancement de la méthode,
- Extension à l'Italie, l'Espagne et au Benelux la deuxième année après le lancement de la méthode.

Prestation d'analyse d'authenticité de produits biologiques - Segment internalisation (P2) : ce service correspond à la mise en place des méthodes d'authentification des produits biologiques au sein de laboratoires de clients, essentiellement des laboratoires officiels publics et des industriels de l'agro-alimentaire de grande et moyenne taille, disposant d'un laboratoire interne et des compétences pour utiliser les équipements nécessaires.

[...]

Le Tableau 8 présente une synthèse des caractéristiques du modèle d'affaires des deux services d'authenticité des produits biologiques, externalisation et internalisation.

[...]

Tableau 8 : Modèle d'affaires du service d'authentification Bio

Éléments nécessaires au client	Modèle « Externalisation » (le client envoie ses échantillons à Eurofins)	Modèle « Internalisation » (le client fait analyser ses échantillons par son laboratoire interne)
Analyse de laboratoire et interprétation	<ul style="list-style-type: none"> • Eurofins commercialise et facture l'analyse entière au client • Ces revenus sont répartis par Eurofins pour rémunérer les contributions suivant une clé de répartition : <ul style="list-style-type: none"> ○ L'analyse de labo elle-même → Eurofins ○ La création de la base de données → Eurofins ○ Le portail Web → Atol C&D ○ Le modèle statistique → UniLaSalle 	<ul style="list-style-type: none"> • Eurofins commercialise et facture un accès au portail cloud au client sous forme : <ul style="list-style-type: none"> ○ D'un abonnement annuel et ○ D'une redevance par analyse réalisée • Ces revenus sont répartis par Eurofins pour rémunérer les contributions (hors analyse labo) suivant une clé de répartition : <ul style="list-style-type: none"> ○ La création de la base de données → Eurofins ○ Le portail Web → Atol C&D ○ Le modèle statistique → UniLaSalle
Équipements de laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> • Thermo Fisher vend les appareils à Eurofins <ul style="list-style-type: none"> ○ Transaction transparente pour le client car incluse dans le prix de l'analyse ○ Rémunération des académiques (GEPEA, CEISAM) par les équipementiers si utilisation de leurs inventions 	<ul style="list-style-type: none"> • Thermo Fisher vend les appareils au client <ul style="list-style-type: none"> ○ Rémunération des académiques (GEPEA, CEISAM) par les équipementiers si utilisation de leurs inventions

Plateforme cloud de gestion de ses propres analyses non-ciblées de laboratoire (P3) : ce service sera co-organisé par Eurofins, Thermo Fisher et Atol C&D. Ce dernier assurera l'exploitation opérationnelle via la plateforme appelée « Cloud Platform for Managing Own Non-Targeted Analyses » (CPMONTA), sur la même infrastructure que le service d'authenticité des produits bio.

Les futurs clients, c'est-à-dire les scientifiques du domaine des sciences alimentaires qui veulent monter leurs propres modèles d'analyses non-ciblées, pourront s'abonner à la plateforme pour la durée de leur choix. Celle-ci proposera le stockage de leurs données analytiques sur le cloud et l'utilisation d'outils pour construire leurs propres modèles statistiques. Une interface facilitant l'import des données issues d'équipements de Thermo Fisher sera mise en place. Autrement, les utilisateurs auront la possibilité de télécharger leurs données brutes eux-mêmes sur la plateforme.

La commercialisation sera assurée par les trois contributeurs, Eurofins, Thermo Fisher et Atol C&D, à travers leurs propres réseaux de vente. Des packages groupés pourront être proposés par Thermo Fisher avec d'autres solutions issues de TOFoo, par exemple le service d'authenticité des produits biologiques. Un abonnement sera aussi possible directement sur le site web.