

Contract No. 30-CE-0609772/00-59

**Title: Modelling feed consumption in the European Union:
update and improvement of the Feed-Model (FeedMod)**

Executive Summary

November, 13 2014

Disclaimer:

This study was financed by the European Commission and was carried out by Tallage, AFZ and INRA (MoSAR). The information and views set out in this report are those of the authors and do not necessarily reflect the official opinion of the Commission. The Commission does not guarantee the accuracy of the data included in this study. Neither the Commission nor any person acting on the Commission's behalf may be held responsible for the use which may be made of the information contained therein.

Executive Summary

General Introduction

Livestock production is one of the most important agricultural sectors in Europe. The European Commission is responsible for the management of agricultural markets in the European Union in order to ensure a stable supply of food. This requires knowledge of the consumption of cereals and other crops. To improve the Commission's ability to assess the demand for EU raw materials used in animal feed, the Directorate General for Agriculture and Rural Development of the European Commission (DG AGRI) decided to develop of a quantitative model via the study 'Modelling feed consumption in the EU'. This model called FeedMod is a computer based model created to estimate the tonnage of raw materials used to produce industrial and on farm compound feed in EU 28. In 2009, a first version (FeedMod 2009), jointly created by Tallage and Céréopa, was presented to the European Commission.

A new study conducted in 2014 with the same contractors has led to the following improvements:

- update of the existing model on the basis of more recent data (theme 1)
- inclusion of new raw materials (theme 2),
- inclusion of Croatia (theme 3),
- a new method for the on-farm feed consumption forecast (theme 4)
- improved reliability through a calibration phase and a sensitivity analysis (themes 5 & 6).

This study covers the crop year 2007/ 2008 to 2012/ 2013 for the 28 Member States. The species used are identical to those studied in 2009, i.e.: pigs, cattle (dairy cows, beef cattle), poultry meat and layers.

Theme 1: Review and update the model parameters

The tonnage of raw materials used to manufacture industrial compound feed is calculated by FeedMod on the basis of a process called 'least-cost formulation'; this method is used to approach the current practices of feed manufacturers. The formulation of a compound feed

is a calculation that makes it possible to decide how much of each raw material will be used to make the feed. In the model, this calculation involves four categories of parameters: the nutritional compositions of raw materials, the nutritional levels of the formulas of industrial compound feeds, the incorporation rates of raw materials and the price of raw materials. The calculation of the feed ration is made directly for 13 Member States: Belgium, Czech Republic, Denmark, France, Germany, Hungary, Ireland, Italy, Netherlands, Poland, Romania, Spain and the United Kingdom. The results for these States are then used to estimate the rations for other Member States. These parameters have been updated by nutritional tables of references, local experts' opinions, bibliographic elements and our own expertise. For raw materials with non-continuous information sources (see price list provided by DG AGRI), new sources have been proposed.

For a satisfactory operation, FeedMod also requires the addition of input data such as Fefac's statistics and Eurostat's data. For this, the use of coefficients called 'conversion' is necessary because these statistics are not detailed enough to be used directly by the model. As an illustration, the coefficient C2 is used to breakdown the consumption of an animal group in those of its lower physiological stages group. The coefficient C4 shows the distribution of feed consumption by species between various virtual plants of a Member State. The coefficient C5 divides the tonnage of feed of an animal group quarterly within each Member State. Most of coefficients of the model are subject to an automatic calculation procedure, the others have been updated based on the latest available official statistics.

Theme 2: Integration of new feed materials used in industrial compound feed

Since the first modelling study of animal consumption in the EU in 2009, the technological processes (e.g. crushing) and formulation practices have progressed. New raw materials are now incorporated in the manufacture of compound feed. With this in mind, Tallage gathered raw materials used by feed manufacturers that are not taken into account in today's database model. Tallage studied the nutritional compositions of some cereals by-products (wheat, barley and rice), but decided not add them to the model since they would not provide further information than the products already included. However, Tallage chose to incorporate two new materials: high pro sunflower meal (sunflower meal rich in proteins), processed animal proteins (poultry or pig) and an additive for cattle: urea (non-protein nitrogen, quickly degradable by rumen bacteria).

During the recent years, the consumption of high-pro sunflower meal is becoming increasingly important in Europe, especially in France. Tallage estimates that French animal consumption of high-pro sunflower is about 0.9 Mt. This rich in protein meal came mostly from Eastern Europe. Its production's method is a process of decortication of the seeds before crushing to extract parts of shells. Its high crude protein content makes it an ideal raw material in formulation feed at the expense of soybean meal. This is why this new raw material was incorporated in addition to the other two sunflower meals. In general, the recommendations for the use of high-pro sunflower meal per Member State are identical to the other sunflower meals.

Processed animal proteins (PAPs) were removed from the feed of all species in 2001 because of the risk of contamination with bovine spongiform encephalopathy (BSE). With their reintroduction in June 2013 for the feeding of farmed fish, a conditioned re-authorization

in monogastric diets could be possible or come into question. Therefore, Tallage adds them to the model. They are important sources of phosphorus, calcium, but also good quality protein that would significantly reduce the European dependence of imported vegetable proteins. Finally, they provide a value-creation for pigs and poultry by-products. To prevent an accidental incorporation of PAPs, Tallage has currently banned their inclusion in all rations for all Member States of the model.

Tallage searched the nutritional compositions of these new raw materials in nutritional tables of references for each of the thirteen States of reference. This was executed in accordance with what has been done for the raw materials already present in the model.

Tallage proposed sources of quotations for high-pro sunflower meal and urea. Since PAPs are currently not allowed in the European Union for species covered by the model, Tallage hasn't added a quotation for this commodity.

Theme 3: Integration of Croatia into the model

Tallage has analysed the livestock farming and production systems in Croatia, Tallage has also described the allocation of industrial compound feed by species, the evolution of cattle, pig and poultry herds and finally the main characteristics of livestock production systems. This enabled us to link the Croatian compound feed production to “principal” Member States¹ as follows:

- Cattle compound feed production: linked to Naples' virtual factory (South Italy)
- Pig compound feed production: linked to Călărași's virtual factory (Romania)
- Poultry compound feed production: linked to Prague's virtual factory (Czech Republic)

Theme 4: Improvement of the model for farm-mixed feed

The on farm section of the model has been significantly improved regarding the inclusion of forage and the breakdown of raw materials in on-farm compound feed.

The on-farm model is now closer reality and better reflecting the actual nutritional requirements of the animals. However, it will require more comprehensive user interventions.

The on farm feed composition is partially or completely linked with the production of raw materials on the farm. Its composition is more or less strongly related to the local availability of the different crops. It differs from the industrial compound feed by:

- a smaller number of raw materials

¹ In the first study (FeedMod 2009) in 2009, « principal » Member States were those representing 92% of industrial compound feed production in the EU 27 (namely Germany, France, Italy, Netherlands, UK, Spain, Poland, Belgium, Denmark, Ireland, Czech Republic, Hungary and Romania). The remaining 14 Member States, referred as “secondary” Member States were linked to the “principal” Member States on the basis of information gathered during the analysis of their livestock production systems.

- a bigger stability of its composition; the evolution of the composition is less closely linked to the price of the raw materials

Thus, optimisation based on minimizing rations, suitable for the compound feed industry cannot be transferred to on-farm compound feed. In FeedMod 2009, Tallage developed a unique method to estimate the consumption of on-farm compound feed. The tonnage of raw materials used to make on-farm compound feed was calculated by a method divided into two main stages:

- determining the total need for each animal category and each Member State,
- modelling the distribution between the different raw materials.

In FeedMod 2014, the model was significantly updated. At first, nutritional intake by green fodder, which was considered a fixed part of the diet of cattle in FeedMod 2009 is now calculated from the actual production of grassland and maize silage.

Secondly, the model produces, in a first step, a quantity of each grain and meal consumed on farm and not a calculation linked to animal requirement. In a second step, the total volume consumed is adjusted if necessary to stay in a correlation with the theoretical needs of animals. Thus, while improvements in the "industrial compound feed" part of the FeedMod model are mainly revisions of parameters without changing the calculation algorithms, for the "on-farm" part of the model, the predictive parameters of raw materials remain the same (crops), but the algorithms used have changed, and new input data are used (fAPAR data).

Theme 5: Model calibration

The part of the FeedMod model dealing with industrial feeds was calibrated using the data provided by Tallage as references. For the main cereal grains and protein feeds used in the 13 Member States defined in FeedMod as the « principal » States, each tonnage estimated with FeedMod was compared to the corresponding Tallage data over 6 campaigns from 2007-2008 to 2012-2013. Differences greater than 0.5 Mt were investigated. Generally, the solution was to modify the limits set for inclusion rates (and particularly the maxima) in order to control more precisely the inclusion of certain raw materials, thus protecting the final results from the often wide variations in formula composition calculated by the linear programming algorithm. These discrepancies between the raw estimates from the non-calibrated FeedMod model and the actual data recorded by Tallage can be explained by the fact that the model does not take into account certain constraints, such as the actual availability of raw materials and preferences of the feed manufacturers. The substitution of the "ideal" limits originally set in the non-calibrated FeedMod model with realistic limits takes into account the reality of feed availability.

After calibration, FeedMod now estimates the consumption per Member State of each of the 3 major cereal grains (barley, maize and wheat) with an error lower than 0.5 Mt. The sum of these 3 cereal grains is predicted with a good accuracy, with an error lower than 1.2 Mt, *i.e.* less than 2% of the total tonnage of these grains. The total consumption of soybean meal is also correctly estimated, with an average error of 1.2 Mt. Problems persist in the estimation of some less important feed materials, particularly rapeseed meal, but the calibration has reduced very significantly the main biases observed in the results of the non-calibrated model.

Theme 6: Sensitivity analysis

The sensitivity analysis of the FeedMod model was designed to explore the model behaviour and provide a comprehensive knowledge of its properties.

The work was organized through nine variability sources. These sources were chosen after the study of the model structure.

A variability source corresponds to a series of parameters belonging to the same family, i.e. playing a role in the same calculation step.

For each source, one or more modalities of analysis were performed.

Each modality corresponds to a scenario of repeated simulations of FeedMod by changing the input of the model.

The results of these simulations enable to visualize, for each modality of each source, the effect of the input variability on the variability of model output. The output used in the analysis are, at the EU 28 scale, the industrial and on-farm global tonnages, for the following main raw materials: barley, maize, soya and wheat. Results are given by graphs showing these tonnages by animal type: cattle, pig, poultry.

For each modality, the coefficients of variation of industrial and on-farm tonnages were calculated and used to classify model responses between sources and the three most variables materials are identified.

A total of 36 modalities (for 9 sources) were considered through and a total of 308 simulations.

Source #1: 6 modalities of changing material composition

Source #2: 5 modalities of changing material quotations

Source #3: 3 modalities of changing production data

Source #4: 13 modalities of changing energy parameters

Source #5: 3 modalities of changing requirement constraints

Source #6: 3 modalities of changing inclusion constraints

Source #7: 1 modality of changing on-farm inclusion rate

Source #8: 1 modality of changing virtual plant granularity

Source #9: 1 modality of changing parity

Synthèse

Introduction générale

La production animale constitue l'un des plus importants secteurs agricoles en Europe. La Commission européenne est responsable de la gestion des marchés agricoles de l'Union européenne, dans le but d'assurer un approvisionnement stable de nourriture. Cela requiert la connaissance de la consommation de céréales et d'autres cultures. Afin d'améliorer la capacité de la Commission à évaluer la demande en UE en matières premières utilisées dans l'alimentation animale, la Direction Générale de l'agriculture et du développement rural de la Commission européenne (DG AGRI) a décidé l'élaboration d'un modèle quantitatif via l'étude « Modelling feed consumption in the UE ». Ce modèle, appelé FeedMod, est un modèle informatique destiné à estimer le tonnage des matières premières utilisées au sein de l'Union Européenne 28 par l'alimentation animale pour fabriquer les aliments composés industriels et les aliments composés fermiers. Une première version (FeedMod 2009) avait été réalisée conjointement par Tallage et le Céréopa et remise en 2009 à la Commission européenne.

Une nouvelle étude, menée en 2014 avec les mêmes contractants, a permis les améliorations suivantes :

- l'actualisation du modèle existant sur la base de données plus récentes (thème 1),
- l'intégration de nouvelles matières premières (thème 2),
- l'inclusion de la Croatie (thème 3),
- la refonte de la partie consommation à la ferme (thème 4)
- une meilleure fiabilité grâce à une phase d'étalonnage et une analyse de sensibilité (thèmes 5 & 6).

Le périmètre de l'étude couvre les 28 Etats membres de la campagne céréalière 2007/2008 à la campagne 2012/2013. Les espèces animales utilisées sont identiques à celles étudiées en 2009, c'est à dire les porcins, les bovins (vaches laitières, bovins viande), les volailles de chair et de ponte.

Thème 1 : Mise à jour des paramètres du modèle

Le tonnage des matières premières utilisées pour fabriquer les aliments composés industriels est calculé dans FeedMod par un procédé dit de 'formulation au moindre coût' ; cette méthode permet en effet de se rapprocher des pratiques actuelles des fabricants d'aliments. La formulation d'un aliment composé est un calcul qui permet de décider la proportion à utiliser de chaque matière première pour composer un aliment. Dans le modèle, ce calcul implique 4 catégories de paramètres : les compositions nutritionnelles des matières premières, les niveaux nutritionnels des aliments composés, les limites d'incorporations des matières premières et prix délivrés des matières premières. Le calcul des formules d'aliments est fait directement pour 13 Etats membres : La Belgique, la République Tchèque, le

Danemark, la France, l'Allemagne, la Hongrie, l'Irlande, l'Italie, les Pays Bas, la Pologne, la Roumanie, l'Espagne et le Royaume Uni. Les résultats obtenus pour ces Etats servent ensuite à estimer les formules d'aliments pour les autres Etats membres. Ces catégories de paramètres ont fait l'objet d'une réactualisation à partir de tables nutritionnelles de référence, d'avis d'experts locaux, d'éléments bibliographiques et de notre expertise. Pour les matières premières dont la source de renseignement n'était pas continue (cf liste de prix fournie par la DG Agri), de nouvelles sources d'informations ont été proposées.

De plus, pour son fonctionnement, FeedMod requiert également l'adjonction de données statistiques de la Fefac et d'Eurostat. L'utilisation de coefficients dits 'de conversion' est alors nécessaire car ces statistiques ne sont pas assez détaillées pour pouvoir être utilisées directement par le modèle. A titre d'illustration, le coefficient C2 sert à éclater une consommation d'un groupe animal en celles de ses stades physiologiques inférieurs. Le coefficient C4 indique la répartition de la consommation d'aliment par espèce d'un Etat entre ses différentes usines. Le coefficient C5 permet le partage du tonnage d'aliments d'un groupe animal par trimestre au sein de chaque Etat membre. La plupart des coefficients du modèle font l'objet d'une procédure automatique de calcul dans le modèle, mais ceux pour qui ce n'est pas le cas, ont été actualisés sur la base des statistiques officielles disponibles les plus récentes.

Thème 2 : Intégration de nouvelles matières premières

Depuis la première étude de modélisation de la consommation animale en 2009 en UE, les processus technologiques (trituration par exemple) et les pratiques de formulation ont évolué. De nouvelles matières premières sont désormais incorporées lors de la confection des aliments composés. En ce sens, nous avons effectué un recensement des matières premières utilisées chez les fabricants d'aliments et non prises en compte aujourd'hui dans la base de donnée du modèle. Nous avons étudié les compositions nutritionnelles d'issues de céréales (blé, orge et riz) puis nous les avons écartés du modèle car elles n'apporteraient pas plus de précisions que les issues qui y figurent déjà. En revanche, nous avons choisi d'incorporer deux nouvelles matières premières : le tourteau de tournesol High Pro (riche en protéines), les protéines animales transformées (volaille ou porc) et un additif pour bovin : l'urée (azote non protéique, rapidement dégradable pour les bactéries du rumen).

Depuis quelques années la consommation de tourteaux de tournesol high-pro prend de plus en plus d'importance en Europe, notamment en France. Tallage estime à ce jour, une consommation animale française de 0,9 Mt de tourteau de tournesol high-pro. Ce tourteau de tournesol riche en protéines provient plutôt de l'Europe de l'Est. Son processus d'obtention consiste en un décorticage préalable des graines avant la trituration pour extraire une partie des coques. Sa teneur élevée en protéines brutes en fait un allié idéal dans les formulations d'aliments pour animaux aux dépends du tourteau de soja. C'est pourquoi nous avons décidé de l'incorporer en complément des autres tourteaux de tournesol. De manière générale, les préconisations d'utilisation du tourteau de tournesol high-pro par Etat membre sont identiques à celle des deux autres tourteaux de tournesol.

Les protéines animales transformées (PAT) ont été supprimées de l'alimentation animale toutes espèces en 2001 en raison des risques de contamination par l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). Avec leur réintroduction en juin 2013 pour l'alimentation des poissons d'élevage, il pourrait être question de leur ré autorisation conditionnée en alimentation monogastrique. C'est dans ce cadre que nous les ajoutons au modèle. Elles

sont d'importantes sources de phosphore, de calcium mais aussi de protéines de bonne qualité qui permettraient de diminuer fortement la dépendance protéines végétales importées. Enfin, elles permettent de valoriser les sous produits animaux de porcs et de volailles. Pour le moment, afin de ne pas permettre une incorporation accidentelle des PAT, nous avons interdit leur inclusion dans l'ensemble des formules d'aliments pour l'ensemble des Etats du modèle.

Nous avons recherché dans les tables de références les compositions nutritionnelles de ces matières premières pour chacun des treize Etats de référence et nous les avons renseigné conformément à ce qui a été fait pour les matières premières déjà présentes dans le modèle.

Nous avons proposé des sources de cotations pour le tourteau de tournesol high-pro et l'urée ; les PAT ne sont pas autorisées aujourd'hui en Europe pour les espèces suivies par le modèle, nous n'avons pas ajouté de cotations pour ce produit.

Thème 3 : Intégration de la Croatie au modèle

Nous avons analysé l'élevage et les systèmes de production croates. Nous avons également décrit la répartition des aliments composés industriels par espèces, l'évolution des troupeaux de bovins, porcins et de volailles et enfin les principales caractéristiques des systèmes de production animale.

Cela nous a permis de rattacher la production d'aliments composés croate aux Etats membres principaux², de la sorte:

- La production d'aliment composé pour bovin est reliée à l'usine virtuelle de Naples (au Sud de l'Italie)
- La production d'aliment composé pour porcine est reliée à l'usine virtuelle de Călărași (en Roumanie)
- La production d'aliment composé pour volaille est reliée à l'usine virtuelle de Prague (en République Tchèque)

Thème 4 : Amélioration du modèle pour l'alimentation à la ferme

Concernant la partie fermière, le modèle a été significativement amélioré autant du point de vue de la composante fourrages que du point de vue de l'éclatement des aliments composés en matières premières. Le modèle à la ferme reflète mieux la réalité, ne prenant plus que partiellement en compte la notion de besoin animal. Le modèle requiert, en revanche, plus d'interventions de l'utilisateur.

La composition des aliments à la ferme est partiellement ou totalement liée à la production des matières premières sur l'exploitation. L'assemblage est plus ou moins fortement lié à aux

² Dans la première étude de 2009, les Etats membres dénommés 'principaux', étaient ceux qui représentaient 92% de la production d'aliments composés industriels en UE27 (Allemagne, France, Italie, Pays Bas, RU, Espagne, Pologne, Belgique, Danemark, Irlande, République Tchèque, Hongrie and Roumanie). Les 14 autres Etats membres, sont définis comme membres 'secondaires' et reliés aux membres 'principaux' sur la base des informations récoltées pendant l'analyse des systèmes d'élevage et de production.

niveaux de disponibilités locales des différentes cultures. Cela diffère des aliments composés industriels par :

- Le nombre réduit de matières premières
- Une plus grande stabilité de la composition ; son évolution est moins étroitement liée aux prix des matières premières

Ainsi, l'utilisation de la formulation au moindre coût, appropriée pour l'industrie des aliments composés n'est pas reproductible dans le cas des aliments composés fermiers. Dans FeedMod 2009, nous avons développé une nouvelle méthode pour estimer la consommation d'aliments composés pour animaux sur la ferme. Le tonnage des matières premières utilisées a été calculé par une méthode en deux étapes :

- la détermination des besoins totaux pour chaque catégorie d'animaux et chaque État membre
- la modélisation de la répartition entre les différentes matières premières.

Dans FeedMod 2014, nous avons considérablement mis à jour ce modèle. Tout d'abord, l'apport nutritionnel par fourrage vert, qui était considéré comme une partie fixe de l'alimentation du bétail dans FeedMod 2009 est maintenant calculée à partir de la production réelle des prairies et de l'ensilage de maïs.

Deuxièmement, le modèle produit, dans une première étape, les quantités de céréales et de tourteaux consommés à la ferme, ce n'est plus un calcul de résiduel relié au besoin animal. Dans un second temps, le volume total consommé est ajusté, si nécessaire, pour rester en corrélation avec des besoins théoriques des animaux.

Ainsi, alors que les améliorations de la partie « alimentation industrielle » du modèle FeedMod sont principalement des révisions de paramètres qui ne modifient pas les algorithmes de calcul, les paramètres prédictifs des matières premières du modèle « à la ferme » restent les mêmes (cultures), mais les algorithmes utilisés ont changé et de nouvelles données d'entrée seront utilisées (données fAPAR).

Theme 5: Calibration

La partie du modèle FeedMod traitant des aliments industriels a été calibrée en utilisant les données fournies par Tallage comme références. Pour les principales céréales et les matières premières protéiques utilisées dans les 13 États membres définis dans FeedMod comme « principaux », chaque tonnage estimé par FeedMod a été comparé aux données Tallage correspondantes pour les campagnes allant de 2007/08 à 2012/13. Les divergences supérieures à 0,5 Mt ont été analysées. En général, la solution a consisté à modifier les limites de taux d'incorporation (et notamment les maxima), afin de contrôler plus finement la prise en compte de certaines matières premières, protégeant ainsi les résultats finaux contre des variations extrêmes calculées par l'algorithme de programmation linéaire. Ces écarts entre les estimations du modèle FeedMod avant calibrage et les données rapportées par Tallage peuvent être expliqués par le fait que le modèle ne prend pas en compte certaines contraintes, comme la disponibilité réelle des matières premières et les préférences des fabricants d'aliments. La substitution des limites « idéales » initialement fixées dans le

modèle FeedMod par des limites réalistes permet de prendre en compte la réalité de la disponibilité des aliments.

Après calibrage, FeedMod estime maintenant la consommation par État membre de chacune des trois principales céréales (orge, maïs et blé) avec une erreur inférieure à 0,5 Mt. La somme de ces trois céréales est prédite avec une bonne précision, avec une erreur inférieure à 1,2 Mt, soit moins de 2 % du tonnage total de ces grains. La consommation totale de tourteau de soja est également correctement estimée, avec une erreur moyenne de 1,2 Mt. Des problèmes persistent dans l'estimation de certaines matières premières moins importantes, notamment le tourteau de colza, mais le calibrage a permis de réduire de façon très significative les principaux biais constatés dans les résultats du modèle non calibré.

Theme 6: Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité du modèle FeedMod a été conçue pour explorer le comportement du modèle et fournir un corpus de connaissances sur ses propriétés. L'analyse a été structurée autour de neuf sources de variabilité. Ces sources ont été choisies suite à un diagnostic de la structure du modèle. Une source de variabilité correspond à une série de paramètres appartenant à la même famille, c'est-à-dire intervenant dans la même étape de la chaîne de calcul. Pour chaque source, plusieurs modalités ont été étudiées. Chaque modalité correspond à un scénario de répétitions de simulations de FeedMod en changeant les entrées du modèle.

Les résultats des simulations permettent de visualiser, pour chaque modalité de chaque source, les effets de la variabilité des entrées du modèle sur les sorties. Les sorties retenues dans l'analyse sont, à l'échelle de l'UE 28, les tonnages globaux d'aliments industriels et fermiers et les tonnages relatifs aux matières premières principales suivantes : orge, maïs, soja et blé. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques illustrant les tonnages pour les groupes d'animaux suivants : bovins, porcs, volailles. Pour chaque modalité, les coefficients de variation des tonnages industriels et fermiers ont été calculés. Ils ont été utilisés pour hiérarchiser les réponses du modèle entre sources de variabilité et également identifier les trois matières premières les plus variables. Un total de 36 modalités (pour 9 sources de variabilité) a été analysé grâce à 308 simulations.

Source #1: 6 modalités de variation de composition des matières premières

Source #2: 5 modalités de variation des cotations des matières premières

Source #3: 3 modalités de variation des données de production

Source #4: 13 modalités de variation des paramètres énergétiques Source #5: 3 modalités de variation des contraintes de besoin

Source #6: 3 modalités de variation des contraintes d'inclusion

Source #7: 1 modalité de variation du taux d'incorporation des aliments fermiers

Source #8: 1 modalité de variation de la granularité des usines virtuelles

Source #9: 1 modalité de variation des parités