



HAL
open science

Développement d'un procédé de pesée par imagerie 3D en élevage de porcs

Yvonnick Rousselière, Mathieu Monziols, Michel Marcon

► **To cite this version:**

Yvonnick Rousselière, Mathieu Monziols, Michel Marcon. Développement d'un procédé de pesée par imagerie 3D en élevage de porcs. *Innovations Agronomiques*, 2021, 82, pp.315-324. 10.15454/t6qt-9h44 . hal-04426773

HAL Id: hal-04426773

<https://hal.inrae.fr/hal-04426773v1>

Submitted on 30 Jan 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Développement d'un procédé de pesée par imagerie 3D en élevage de porcs

Rousselière Y.¹, Monziols M.¹, Marcon M.¹

¹ IFIP – Institut du porc – F-35650 Le Rheu

Correspondance : yvonnick.rousseliere@ifip.asso.fr

Résumé

L'amélioration des processus en élevage présuppose la connaissance du poids des animaux, *a minima* ponctuellement mais aussi désormais, dans une perspective d'élevage de précision, de manière récurrente. Or, les systèmes de pesée précis sont onéreux et contraignants. Cette étude vise à concevoir un portique de pesée 3D utilisable en élevage porcin sur tous types d'animaux (de 10 à 110 kg) permettant de lever, au moins en partie, ces contraintes. Un portique équipé de 5 caméras Kinect de type TOF a été construit afin de mesurer le volume des porcs sans contention. Puis, sur la base de la mesure de densité réalisée avec un tomographe RX sur 48 animaux allant de 10 à 110 kg, il a été possible de déterminer la masse volumique d'un animal selon son âge et de corriger les imprécisions dans la détermination du volume par le portique. Au final, il est possible avec ce dispositif de portique 3D de déterminer le poids d'animaux de 10, 30, 70 et 110 kg avec une incertitude inférieure à 5% (respectivement de 4 %, 3 %, 2 % et 3 %) ce qui ouvre de nouvelles perspectives aux éleveurs de porcs pour piloter leur élevage de manière plus fine.

Mots-clés : Reconstruction 3D, scanner, masse volumique, poids.

Abstract: Development of a 3D imaging weighing process in pig breeding

Information on the animal weight is essential to improve breeding performances, at least occasionally but also, with precision breeding management, more regularly. However, precise weighing systems are expensive and restrictive. This study aims to design a 3D weighing portal that can be used in pig farming on all types of animals (from 10 to 110 kg) and able to overcome, at least in part, these constraints. A portal equipped with 5 TOF-type Kinect cameras was built to measure pig volume without restraint. Then, with density measurement carried out with an X-ray tomograph on 48 animals from 10 to 110 kg, it was possible to determine the animal density according to its age and to correct the inaccuracies in the determination of the volume by the portal. In the end, it is possible with this 3D portal to determine the animal weight of 10, 30, 70 and 110 kg with an uncertainty of less than 5% (respectively 4%, 3%, 2% and 3%) which offers new perspectives for pig farmers to better manage their breeding in the future.

Keywords: 3D reconstruction, scanner, density, weight.

Introduction

Au cours de ces 30 dernières années, la production porcine a connu de très fortes évolutions techniques. Dans le contexte récent, marqué par l'essor des nouvelles technologies, la notion d'élevage de précision apparaît comme porteuse d'évolutions prometteuses. Dans le cortège des possibles applications que recouvre cette notion, de nombreux développements impliquent la mise en place de dispositifs automatisés permettant de générer, d'enregistrer, de traiter de nombreuses informations pour, *in fine*, améliorer l'efficacité d'une fonction, action, règle de pilotage... Le plus souvent, cela génère aussi des coûts, notamment d'investissement, qui peuvent limiter l'extension de ces technologies aux élevages. Pour amortir ces investissements, il est nécessaire de réduire le coût de ces nouvelles technologies ou d'obtenir que l'élevage de précision améliore grandement les performances

technico-économiques des élevages. Les premiers travaux sur l'élevage de précision concernent l'alimentation des animaux, qui représente plus de 60 % du coût de production. Dans la plupart des cas, ces technologies supposent d'enregistrer des données en grand nombre, sur des pas de temps plus courts. Au premier rang de ces données et dans la plupart des applications envisagées, le poids des animaux est une donnée clé.

Pour la mesure du poids des animaux, des techniques manuelles d'estimation existent, comme la méthode baryométrique qui consiste à corréler le poids d'un animal à des mesures métriques : circonférence au niveau des épaules et longueur du tronc (Delate et Babu, 1990 ; Mutua *et al.*, 2011). Cette solution n'est cependant pas envisageable pour des mesures répétées en élevage.

Des équipements performants (en termes de précision) existent déjà dans les élevages, comme les balances sur capteurs de force ou jauges de contrainte, mais leur coût élevé (près de 100 € /place de porc) limite leur nombre et donc aussi leur utilisation. Leur usage systématique en engraissement (incluant le monitoring permanent en cours d'élevage) supposerait ainsi la création de grands lots pour l'amortir, ce qui constitue une configuration peu fréquente et qui présente d'autres inconvénients (santé animale...). De plus, ce type de pesée nécessite de contraindre l'animal, ce qui génère un stress pour le porc et impose, en outre, de construire un dispositif de contention spécifique, évidemment onéreux. Pour multiplier les lieux de pesée en élevage, il est donc impératif de disposer d'un procédé de mesure moins coûteux.

Plusieurs travaux de recherches se sont intéressés à cet égard aux technologies d'imagerie (2D ou 3D) car il s'agit d'alternatives intéressantes pour évaluer le poids des animaux, mais leur efficacité reste à améliorer. La méthode de scanner par laser est une technologie bien maîtrisée pour évaluer le volume ou la silhouette d'un objet simple et immobile. Cependant, Bol et ses collaborateurs précisent que plus la complexité de la silhouette étudiée est importante et plus la précision de cet outil est faible. Ainsi, il ne semble pas approprié d'utiliser ce type de technologie pour déterminer le volume des animaux (Bol *et al.*, 2009). Les méthodes basées sur le traitement d'images (2D ou 3D) semblent plus à même de décrire le volume d'une silhouette complexe et détaillée (Kawai *et al.*, 1992 ; Hung *et al.*, 1999). Le test de ces outils sur des animaux dans le but de prédire leur poids a déjà été étudié (Schofield, 1990 ; Brandl et Jorgensen, 1996 ; Wang *et al.*, 2008) mais l'incertitude des résultats (comprise entre 5 et 8 %) n'est, pour le moment, pas satisfaisante pour envisager une application en élevage. En effet, sachant que la plupart des éleveurs parviennent à estimer, visuellement, le poids de leurs animaux (repère anatomique, conformation) avec une incertitude d'environ 5 % (dire d'expert basé sur les résultats de mise dans la gamme), les technologies développées, pour le moment, apportent peu de plus-value technique.

D'autres outils, initialement destinés aux sciences humaines, permettent de déterminer le poids d'un animal avec une précision plus importante. En effet, l'IFIP dispose d'un tomographe (ou scanner RX) et d'une base de données conséquente comportant le volume et le poids des animaux. Cet outil constitue un moyen précis et efficace pour déterminer les relations entre volume et poids des animaux.

Cette étude vise à concevoir un prototype de portique de pesée 3D permettant de peser des porcs sans contention avec une incertitude inférieure à 5 %. Ce portique pourra être déplaçable afin d'être utilisable à divers endroits d'une exploitation porcine.

1. Construction d'un portique de pesée 3D

1.1 Cahier des charges et mode de fonctionnement

Le principe de mesure sans contact du volume d'un objet repose sur la mesure de la distance entre un (ou des) capteur(s) et l'ensemble des points constituant la surface de l'objet à mesurer. Quand les capteurs sont positionnés de sorte à « voir » l'ensemble de l'objet, l'agrégation de tous les points de

mesure (« nuage de points ») permet de reconstituer le volume de l'objet. A partir de ce volume, une estimation précise de la masse de l'objet peut être fournie à l'opérateur (la masse volumique de l'objet étant connue par ailleurs).

Le cahier des charges du portique de pesée 3D développé dans le cadre de ce projet est essentiel afin de garantir une utilisation possible en élevages commerciaux. Voici les principales lignes directrices :

- Un portique adapté permettant de peser des animaux allant du porcelet au porc charcutier ;
- Un portique déplaçable ;
- Un portique positionnable dans le couloir central d'un bâtiment porcin (dimension standard d'un couloir : largeur max : 2 m ; hauteur max : 2,50 m) ;
- Système de pesée sans contention ;
- Système peu sensible aux conditions d'éclairage qui peuvent être variables dans un couloir d'élevage ;
- Incertitude de la mesure du poids inférieure à 5 %.

1.2 Modèle de caméras et implantation sur le portique

Le portique de 1,65 m de large sur 3,1 m de long a été équipé de 5 caméras Kinect (version 2) afin de pouvoir couvrir tous les angles de vues lors du passage d'un animal allant de 10 à 110 kg. Ainsi, on obtient une répartition avec une caméra au-dessus de l'animal et au centre du portique et une caméra dans chaque coin supérieur du portique (soit 4 caméras) positionnée à 2,0 m du sol et avec un angle de 60° par rapport à l'animal (Figure 1). Ces dernières offrent une bonne résolution (1920x1080) et sont associées à un capteur « time-of-flight » (TOF ; 512x424). Chaque pixel du capteur TOF générant une mesure de profondeur, on dispose de 217 088 mesures de distance pour le champ de vision couvert.

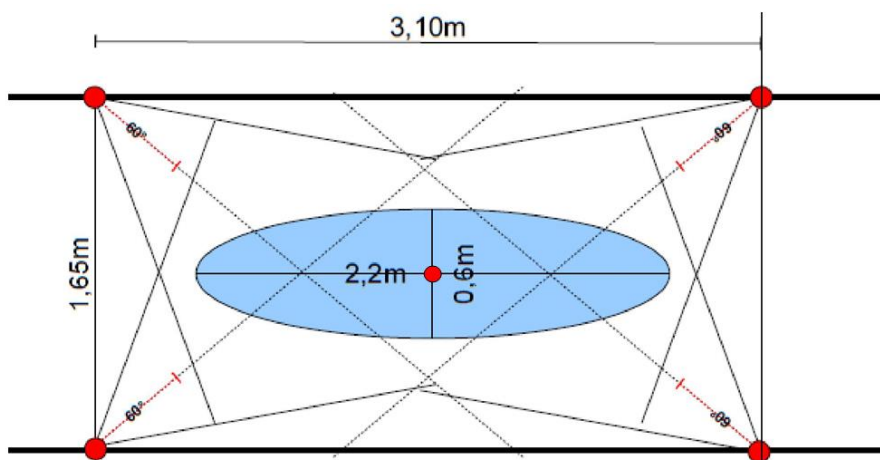


Figure 1 : Dimension du portique de pesée 3D et positionnement des 5 caméras Kinect (points rouges)

2. Détermination du poids des porcs

2.1 Procédure de prise d'images

Plusieurs étapes sont nécessaires pour établir la reconstruction 3D de la silhouette des porcs lors de leur passage sous le portique. La première consiste à calibrer le dispositif en situation d'élevage. En effet, pour obtenir une mesure précise du volume des porcs, il est essentiel que chaque caméra connaisse son positionnement relatif dans le portique par rapport aux 4 autres. Pour ce faire, nous avons utilisé le capteur de profondeur de la caméra pour réaliser une reconnaissance d'un objet neutre dont le volume est connu. Le principe est de positionner une boule en polystyrène sur un support à

différents endroits du portique et de lancer une prise de mesure simultanée des caméras. Cette méthode est rapide (environ 10 minutes) et peu sensible aux conditions d'éclairage. Dans un deuxième temps, une première série de mesures a été réalisée. A chaque passage d'un porc, les cinq caméras prennent une série de clichés de manière instantanée sur un rythme de 30 images par seconde. Comme le montre la Figure 2, chaque caméra est orientée et positionnée de telle sorte qu'elle puisse prendre la silhouette complète du porc à un instant t.

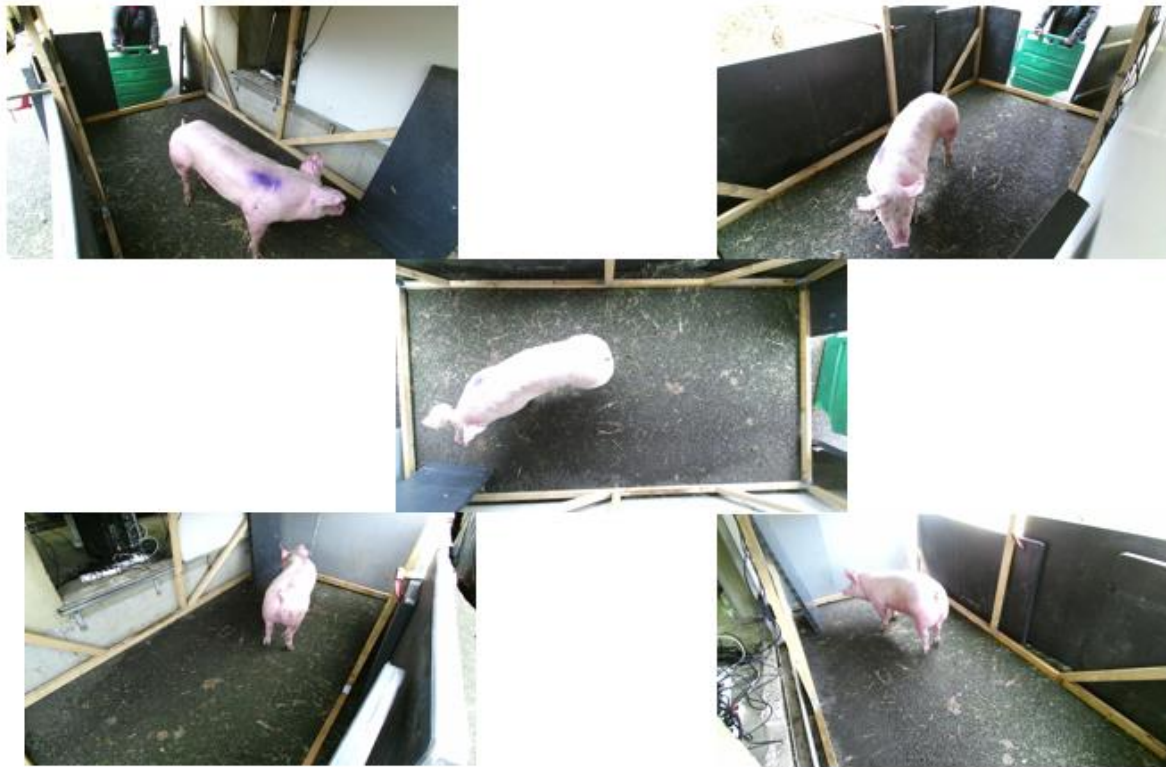


Figure 2 : Prise de mesures des 5 caméras lors du passage d'un porc sous le portique 3D

Pour chaque prise de mesures, les caméras kinect prennent trois types de données : une photographie couleur, une photographie infra-rouge et une carte de profondeur. Pour la reconstruction 3D, uniquement les cartes de profondeur sont utilisées. Il s'agit de clichés en noir et blanc et chaque nuance de gris correspond à une distance précise entre l'objet et la caméra. A l'œil nu, on ne distingue que quelques nuances différentes mais le logiciel de traitement d'images associé est capable d'en distinguer plus de 1 000 différentes. Ainsi, pour chacun des points qui constitue le porc, on obtient une indication sur la distance qui le sépare d'une (ou plusieurs) des cinq caméras. Si un même point est visible sur plusieurs caméras, il est possible de croiser les données de distance de chacune des caméras et ainsi gagner en précision pour positionner ce point dans l'espace 3D (Figure 3). Par exemple, le dos de l'animal est obligatoirement vu par la caméra du centre et une ou plusieurs caméras positionnées dans les coins du portique. Si un point n'est visible que par une caméra ou pas visible du tout, dans ce cas, un algorithme de reconstruction extrapole le positionnement de ce point dans l'espace 3D étudié, ce qui réduit très fortement la détermination précise du volume de l'objet étudié.

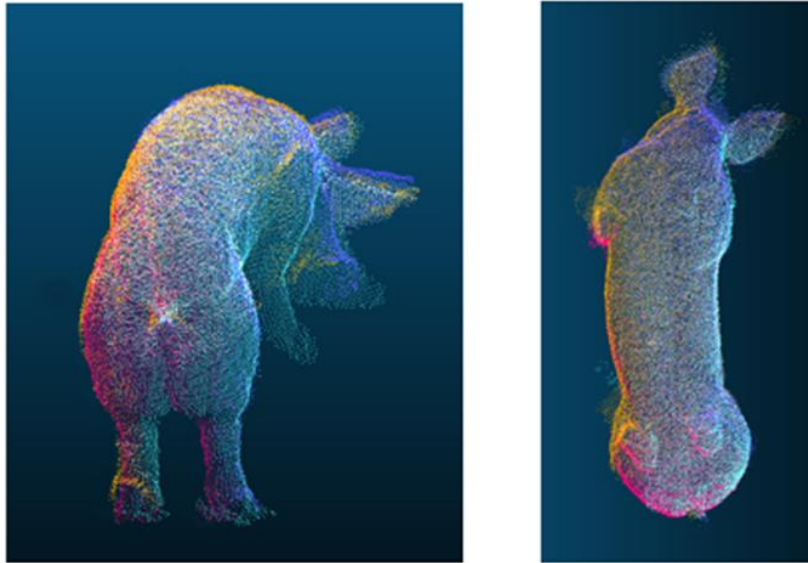


Figure 3 : Reconstruction 3D du volume d'un porc à partir des cartes de profondeur des 5 caméras Kinect

2.2 Conception de l'algorithme de reconstruction 3D

Pour créer le premier modèle de reconstruction 3D, une première série de mesures a été réalisée sur 17 porcs de 23 à 97 kg. Chaque animal est passé plusieurs fois dans le portique afin de vérifier si la détermination du volume est répétable dans le temps. Globalement, il existe toujours une zone de perturbations aux niveaux des oreilles et du groin de l'animal (Figure 4). Cela correspond aux mouvements des porcs dans un intervalle d'un trentième de seconde ainsi qu'au léger décalage dans la prise de mesure qu'il existe entre les cinq caméras. Grâce à des procédures de nettoyage des données, ces perturbations peuvent être réduites. De plus, elles ne correspondent pas à une part significative du volume global de l'animal donc la persistance de ce type de perturbations n'influence que très peu la détermination finale du volume de l'animal.

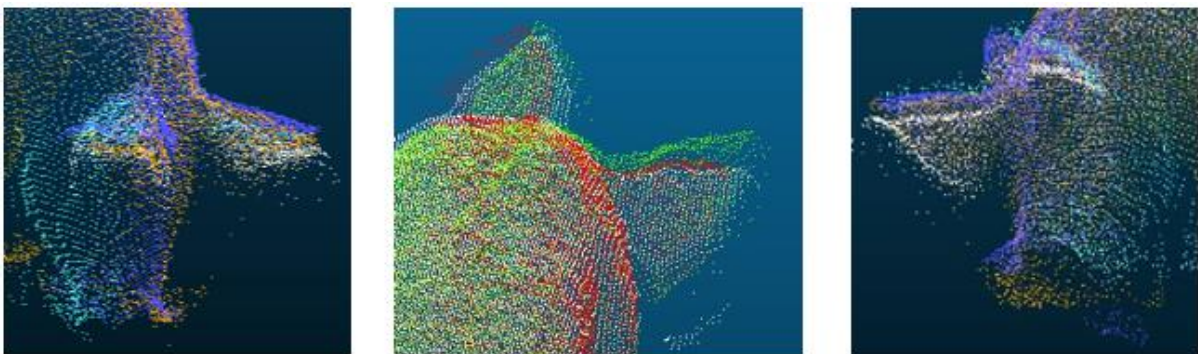


Figure 4 : Reconstruction 3D imparfaite de la tête souvent liée aux mouvements des oreilles

2.3 Détermination de la masse volumique d'un porc

2.3.1 Intérêt du scanner

Au mieux, la mesure 3D est susceptible de fournir le volume du porc, cependant le critère d'intérêt est le poids. Pour cela, il est nécessaire de connaître la densité d'un animal à différents stades ainsi que la variabilité de cette densité. De plus, il est nécessaire de bénéficier d'une mesure précise du volume de l'animal qui pourra faire office de volume de référence. Cette mesure permet de vérifier la précision de la reconstruction 3D réalisée par le portique. Le scanner RX est l'une des meilleures technologies pour suivre ces deux objectifs. Son fonctionnement est basé sur l'absorption différentielle des rayons X par

les différents tissus du corps. Il est composé d'un tube à rayon X positionné à l'opposé d'une batterie de détecteurs spécifiques du rayonnement RX émis par le tube RX. Les deux ensembles tournent autour du "patient". Des rayons X sont émis à des intervalles de temps réguliers et les détecteurs mesurent la quantité de rayonnement absorbée par le "patient". L'information des détecteurs est traitée informatiquement pour reconstruire des images de coupes 3D du "patient". Chaque élément d'image, dénommé pixel, est caractérisé par une valeur CT ou de densité, exprimée en unités Hounsfield. La plupart des scanners RX peuvent différencier plus de 4000 valeurs CT. L'eau a typiquement une densité de zéro et l'air de -1000. Le gras est autour de -100, le muscle autour de + 60 et les os durs autour de + 1000. Les valeurs CT sont reconstruites en une image en niveaux de gris. Les différences de niveaux de gris obtenus sur les images permettent de différencier les tissus grâce à leur densité. Par principe, le tomographe ne peut donc pas distinguer des structures anatomiques de densités proches.

Le tomographe RX est une modalité d'imagerie dite anatomique. En effet, par opposition à l'imagerie fonctionnelle, le tomographe donne une information structurelle des tissus mais ne donne pas d'information sur leur métabolisme et leur fonctionnement.

Chaque image est composée de pixels en 3D appelés voxels. Chaque voxel représente un volume issu de deux grandeurs, la résolution du pixel dans le plan de l'image et l'épaisseur de coupe (soit la dimension de profondeur du voxel). Des animaux ont donc été passés au scanner à rayons X intégralement et l'ensemble des voxels de l'animal a été sommé pour mesurer précisément son volume.

2.3.2 Détermination de la masse volumique du porc

Afin de connaître la densité du porc à différents âges, 48 animaux ont été testés : 14 animaux autour de 10 kg de poids vif ; 13 animaux autour de 30 kg de poids vif ; 8 animaux autour de 70 kg de poids vif ; 13 animaux autour de 110 kg de poids vif.

Les animaux par groupe de poids ont été passés dans le dispositif de caméras 3D puis ont été individuellement anesthésiés par injection intramusculaire de Kétamine à 100mg/ml avec une dose de 20 mL/100 kg pour les animaux de poids supérieurs à 35 kg et 25 mL/100kg sinon (Imalgène 1000®) et de Xylazine à 20 mg/mL avec une dose de 10 mL/100kg (Rompun®).

Une fois anesthésié, l'animal a été placé dans un matelas à dépression pour assurer sa contention et son transport jusqu'au scanner. Chaque animal a ensuite été scanné avec le scanner Siemens emotion duo (siemens, erlangen, Allemagne) selon les paramètres d'acquisition suivants :

- Acquisition en spirale
- Tension du tube RX : 130 KV
- Intensité du tube RX : 40 mAs
- Champ de vue (FOV) : 500x500
- Matrice d'acquisition : 512x512
- Epaisseur de coupe : 3 mm
- Filtre de reconstruction : B30s (filtre mou)

La résolution de chaque image dans le plan résulte de l'encodage du champ de vue dans la matrice d'acquisition donc chaque pixel dans le plan à une résolution de 500/512 x 500/512 soit 0,98 x 0,98 mm.

L'épaisseur de coupe étant de 3 mm, chaque voxel d'une image correspond donc à un volume de 2,86 mm³.

Une acquisition d'un animal peut comporter jusqu'à 450 images. La Figure 5 présente quelques exemples.

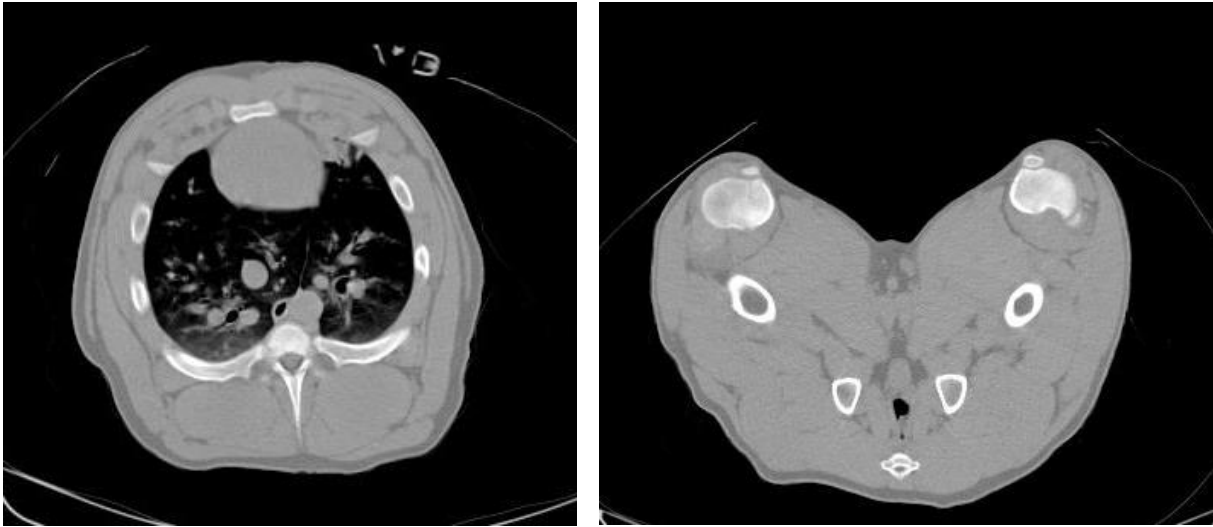


Figure 5 : Exemples d'images brutes du scanner (zone thoracique à gauche et zone des jambons à droite)

Toutes les images sont ensuite analysées par traitement d'image afin de mesurer le volume de l'animal. Le traitement a été réalisé grâce au logiciel ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/>) avec le plug-in morpholibj (<https://imagej.net/MorphoLibJ>).

Le traitement a été réalisé en quatre étapes. La première étape consiste à binariser l'image en effectuant un seuillage entre les valeurs Hounsfield de -200 et 3000 (afin de mettre en blanc tout ce qui est objet dans l'image et l'air en noir).

Certaines zones anatomiques comme les poumons ou les intestins contiennent de l'air donc ne sont pas comprises dans les pixels ainsi détectés, comme cela concerne des zones internes, on applique une procédure de fermeture des trous (« fill holes »).

Il peut y avoir d'autres objets que l'animal sur les images (poignées ou sangles du matelas) pour les enlever, le traitement va les détecter en utilisant la labellisation de morpholibj (« connected components labelling » en connectivité 26) et ne garder que celui ayant la plus grosse surface (« keep largest label »).

Enfin il peut arriver que des objets soient en contact avec l'animal (sangles notamment) auquel cas, ils sont retirés manuellement.

On obtient une série d'images binaires correspondant en blanc aux pixels représentant le volume de l'animal. Il suffit de faire un histogramme pour avoir le nombre de pixels correspondant. En multipliant ce chiffre par la taille du pixel, le volume de l'animal en mm^3 est obtenu.

Les animaux étaient pesés avec une cage de contention classique juste avant l'acquisition, ce qui permet par division entre le poids et le volume d'obtenir les densités individuelles et donc des densités moyennes par groupe d'animaux.

Le poids et le volume de ces 48 animaux sont très bien corrélés comme le montre la Figure 6.

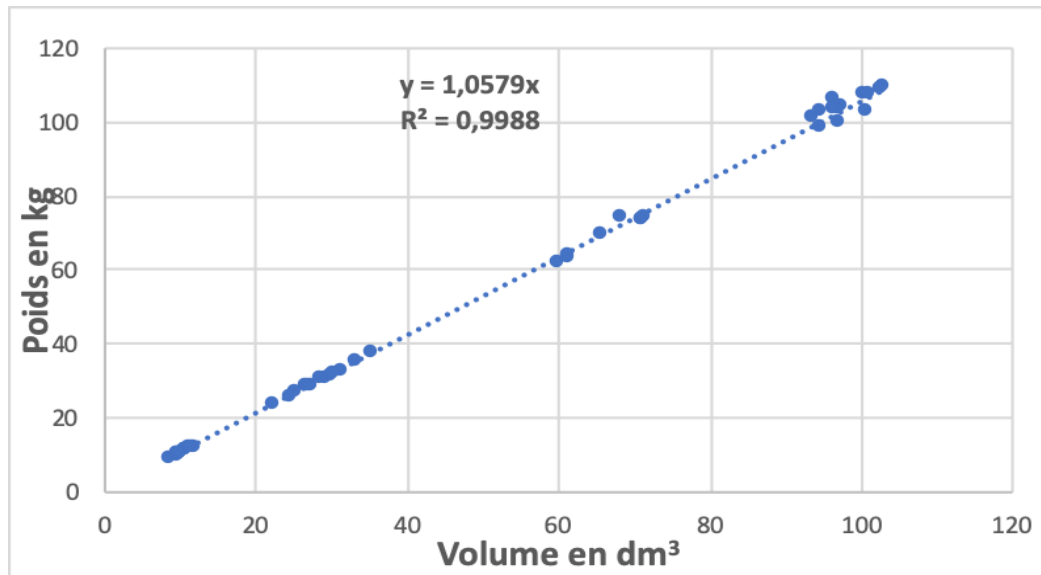


Figure 6 : Relation entre le poids des animaux et la mesure du volume au scanner

On obtient alors une densité moyenne de 1,06 avec ces données. L'erreur-type de prédiction du poids en appliquant cette densité au volume est de 1,3 kg.

Les densités par bloc de poids sont légèrement différentes de la moyenne. En effet, pour les blocs de poids de 10, 30, 70 et 110 kg, les densités moyennes sont respectivement de 1,02 ($\pm 0,02$), 1,05 ($\pm 0,01$), 1,04 ($\pm 0,02$) et 1,06 ($\pm 0,02$) (Tableau 1).

Tableau 1 : Densité des porcs pour différents blocs de poids

Blocs poids	Data	Poids moyen (kg)	Volume moyen (dm ³)	Densité moy	Densité min	Densité max	Ecart type densité	COV
10 kg	14	10,6	10,4	1,023	0,9845	1,0520	0,019	1,83
30 kg	13	30,3	28,6	1,049	1,0339	1,0801	0,013	1,20
70 kg	8	69,2	66,3	1,044	1,0300	1,0872	0,018	1,75
110 kg	13	104,0	98,1	1,063	1,0188	1,0993	0,023	2,14

2.4 Calcul du poids individuel des porcs

L'objectif de cette étape est de comparer les volumes extraits, d'une part, du scanner RX (volume de référence) et, d'autre part, du portique de pesée 3D (volume dont il faut déterminer la précision).

Pour le scanner RX, nous disposons uniquement d'une donnée par animal ; il s'agit du volume déterminé suite aux traitements des images.

Pour le portique 3D, nous disposons de plusieurs données de volume pour un animal. Lorsqu'un animal entre dans le portique de 3,10 m de long, la prise de mesures démarre dès que l'ensemble de l'animal est visible sur les 5 caméras et ceci jusqu'à ce qu'il disparaisse du champ. Les calculs de volumes sur différentes images 3D d'un même porc sont relativement homogènes (sauf exception, ± 4 % maximum). Or, souvent, un même porc est dans une position assez différente (orientation, posture) d'une image 3D

à l'autre. Cela indique donc que le système présente une bonne répétabilité quelle que soit la position du porc.

Lorsqu'on compare ces deux volumes, il y a une différence assez forte mais assez homogène entre le volume issu du scanner et le volume issu de la 3D.

$$VOLUME(portique) = VOLUME(scanner\ RX) + (15 \text{ à } 20 \%)$$

Cette différence peut être liée à l'imprécision de la mesure de volume par le portique ou à une dynamique des tissus assez différente entre un porc couché et anesthésié (mesure avec le scanner RX) et un porc debout et actif (mesure avec le portique 3D). Quoi qu'il en soit, cette forte différence est relativement constante et toujours orientée dans le même sens (Volume portique > Volume scanner RX). Il est donc assez facile de l'intégrer directement dans l'algorithme de reconstruction 3D comme un coefficient correcteur.

Sur la base des volumes obtenus avec le portique, on peut, par la suite, appliquer une densité moyenne à chaque porc selon son bloc de poids. L'erreur de prédiction du poids obtenu pour des porcs de 10, 30, 70 et 110 kg est alors respectivement de 4 %, 3 %, 2 % et 3 %.

L'imprécision est la plus importante sur les animaux les plus légers. Ceci s'explique principalement par la difficulté d'avoir une vision correcte du dessous du ventre de ces animaux. Pour améliorer ce point, il suffit de descendre les quatre caméras positionnées dans les angles du portique à une hauteur de 0,40 m (prise de mesure actuelle à 0,70 m).

Conclusion

Le développement de ce portique de pesée 3D semble concluant. Il permet de peser les animaux avec un niveau de précision satisfaisant (supérieur à 95% pour des animaux allant de 10 à 110 kg). Ce concept peut être un outil pertinent pour les éleveurs souhaitant un pilotage plus fin des performances de croissance des animaux. Il peut également s'avérer utile pour le tri des porcs charcutiers avant le départ à l'abattoir afin de s'assurer que les animaux livrés seront dans le cœur de gamme de la grille de paiement française (+2 centimes par kg de carcasse pour tout animal dont le poids de carcasse est compris entre 85 et 95 kg).

Néanmoins, il ne s'agit que d'une preuve de concept et de nombreux points restent encore à lever avant d'obtenir un produit compatible avec les exigences d'un élevage commercial : réduction de la taille du portique et du nombre de caméras nécessaires pour réaliser une reconstruction 3D précise. À l'avenir, il faudra relier ce dispositif à un système d'identification individuelle des animaux (système RFID, par exemple) afin d'être en mesure d'éditer un fichier avec le numéro et le poids d'un porc lors de son passage dans le portique. Cela suppose de disposer d'un algorithme permettant de calculer le poids des animaux en temps réel. Pour le moment, les puissances de calcul disponibles ne permettent qu'un traitement des données *a posteriori*. Depuis la fin de cette étude, il existe une effervescence importante autour du traitement d'images en production porcine. Certaines entreprises commercialisent, d'ores et déjà, des dispositifs permettant de peser les animaux à partir de prises d'images et de nouveaux applicatifs basés sur cette technologie perceront dans les années à venir.

Références bibliographiques

Bol A., Saunders C., Banhazi T., 2009. Evaluating laser-scanning as a potential technology for measurement of livestock body dimensions. Biennial conference of the Australian society for engineering in agriculture. p. 13-16.

Brandl N., Jorgensen E., 1996. Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis. Computers and Electronics in Agriculture, 15, 57–72.

Delate J.J. et Babu R., 1990. Détermination d'équations baryométriques sur des porcs rustiques en milieu tropical. Journées Recherche Porcine, 22, 35-42.

Hung Y., Chen C., Hsieh I., Fuh C., 1999. Reconstruction of complete 3D object model from multi-view range images. SPIE Int'l Symposium on Electronic Imaging. p. 138–145.

Kawai Y., Ueshiba T., Yoshimi T., Oshima M., 1992. Reconstruction of 3D objects by integration of multiple range data. Computer Vision and Applications. p. 154-157.

Mutua F., Dewey C., Arimi S., Schelling E., Ogara W., 2011. Prediction of live body weight using length and girth measurements for pigs in rural Western Kenya. Journal of Swine Health and Production. 19, 1, 26-33.

Schofield C., 1990. Evaluation of image analysis as a means of estimating the weight of pigs. Journal of Agricultural Engineering Research 47, 287-296.

Wang Y., Yang W., Walker LT., Rababah T., 2008. Enhancing the accuracy of area extraction in machine vision based pig weighing through edge detection. Int Journal Agri & Biol Eng, 1, 37 – 42.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).