

Instrumentation intelligente pour la surveillance du grain stocké sous atmosphère modifiée

Louis LABROT--RHODES (1)(2), Éric CAMPO (1), Pierre POUJAUD (2)

(1) LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA, UT2J, Toulouse, France

(2) S.A.S. NOX, Villemur-sur-Tarn, France

Le stockage des récoltes est un enjeu majeur pour la sécurité alimentaire. Environ un tiers de la masse agricole produite dans le monde est perdue chaque année (Gustavsson 2011) alors que le nombre de personnes sous-alimentées a atteint entre 720 et 811 millions d'individus en 2020. (FAO 2021).

Lorsque les grains sont stockés secs, les moisissures ne sont plus une cause de détérioration et les insectes sont alors la principale cause de pertes durant le stockage (Shlomo Navarro 2012; Fleurat-Lessard 2017). Plusieurs avancées technologiques ont été réalisées ces dernières années sur les sacs hermétiques souples ainsi que sur l'utilisation de l'atmosphère modifiée pour permettre une bonne qualité de conservation des grains. Ces progrès permettent aujourd'hui à de nouvelles entreprises de proposer des stockages originaux et sûrs sans traitement chimique (S. Navarro et Navarro 2014). A des concentrations supérieures à 50% de dioxyde de carbone (CO₂), toutes les formes d'insectes sont éliminées (Shlomo Navarro 2012). Malheureusement, peu de solutions se proposent de surveiller en continu les stockages de grains réalisés sous atmosphère enrichie artificiellement en CO₂. La majorité des stockages actuels sont sous la forme de silos, greniers ou entrepôts dans l'air ambiant. La température est la grandeur alors la plus suivie car elle évolue pendant le stockage et contribue principalement au développement des insectes. En effet, en dessous de 10°, il n'y a pas de prolifération des insectes. Généralement, lorsque la température extérieure est plus basse que la température du grain, le grain est ventilé pour le refroidir (Reed et Arthur 2000). Parfois, la concentration naturelle de CO₂ dans l'air ambiant du stockage est aussi surveillée dans les silos ou entrepôts afin de détecter l'éventuelle présence d'insectes et de moisissures. Cependant, ces concentrations de CO₂ dans l'air ambiant ne dépassent jamais quelques pourcents. Ceci est la raison pour laquelle la très grande majorité des capteurs de CO₂ ont des plages de mesures très faibles avec des précisions de quelques dizaines ou centaines de ppm (Neethirajan et al. 2010)

Ainsi, les grains stockés dans des big-bags hermétiques sous atmosphère modifiée contenant une concentration supérieure à 50% de CO₂ sont sans risque d'insectes quelle que soit la température (ARVALIS 2020). Cependant, les chocs ou les rongeurs peuvent perforer le liner des contenants hermétiques assurant le stockage du grain. La durée de conservation s'en trouve altérée. Pour ces raisons, l'approche proposée est la conception d'un système de surveillance automatisée qui analyse en continu les paramètres de l'atmosphère modifiée de ces big-bags (au minimum en mesurant l'humidité, la température et la concentration de CO₂ jusqu'à 100% dans chaque big-bag). Ce système comporte dans chaque big-bag un dispositif embarqué communicant composé de capteurs et connecté à une infrastructure de surveillance logicielle permettant le stockage et le traitement des données, l'analyse prédictive des risques et la mise à disposition des informations aux opérateurs de terrain. L'électronique embarquée dans chaque big-bag a pour but de mesurer les grandeurs physiques caractéristiques de l'atmosphère, de les envoyer via une communication sans fil vers l'outil de supervision. Ces mesures permettent d'élaborer des modèles comportementaux des big-bags et de détecter toute déviance des paramètres et du modèle de référence. L'utilisation des techniques relevant de l'IA est original dans ce contexte pour anticiper l'évolution potentielle de la qualité du

stockage (taux de germination et mortalité des insectes notamment) et pour déterminer la durée de conservation sans risque (Kaleta et Grnicki 2013). Par exemple, le système pourra avertir le responsable du stockage quand plus de 99% des insectes sont morts ou pour estimer le temps restant avant que le taux de germination minimal souhaité soit atteint. Au-delà de ces analyses et indicateurs réalisés par l'infrastructure de surveillance, le dispositif embarqué dans chaque big-bag hermétique doit être optimisé en termes de consommation et de volume. Les capteurs intégrés doivent être des capteurs bas coûts afin de proposer une solution à valeur ajoutée compatible avec le modèle économique proposé par NOX. Notre démarche s'appuie sur une modélisation système (méthode Arcadia) pour aboutir à un prototype fonctionnel prenant en compte toutes les dimensions du système (fonctionnelles, environnementales...) et assurer la pérennité de toute évolution ultérieure que ce soit des fonctionnalités du système ou de son environnement.

Bibliographie

- ARVALIS. 2020. « Stockage des grains en big bags : performances sur les insectes ». 5 novembre 2020. <https://www.arvalis-infos.fr/stockage-des-grains-en-big-bags-nox-une-alternative-interessante-@/view-33620-arvarticle.html>.
- FAO. 2021. « The State of Food Security and Nutrition in the World 2021 ». Wwww.Fao.Org. 2021. <https://doi.org/10.4060/CB4474EN>.
- Fleurat-Lessard, Francis. 2017. « Integrated Management of the Risks of Stored Grain Spoilage by Seedborne Fungi and Contamination by Storage Mould Mycotoxins – An Update ». *Journal of Stored Products Research* 71 (mars): 22-40. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.10.002>.
- Gustavsson, Jenny, éd. 2011. *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention; Study Conducted for the International Congress Save Food! At Interpack 2011, [16 - 17 May], Düsseldorf, Germany*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Kaleta, Agnieszka, et Krzysztof Grnicki. 2013. « Criteria of Determination of Safe Grain Storage Time – A Review ». In *Advances in Agrophysical Research*, édité par Stanisaw Grundas. InTech. <https://doi.org/10.5772/52235>.
- Navarro, S., et H. Navarro. 2014. « The biological and physical aspects of hermetic storage: A critical review ». In Arthur, F.H; Kengkanpanich, R.; Chayaprasert, W.; Suthisut, D. (Eds.) *Proceedings of the 11th International Working Conference on Stored Product Protection*. Chiang Mai, Thailand. <https://doi.org/10.14455/DOA.res.2014.58>.
- Navarro, Shlomo. 2012. « The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products ». *Journal of pest science* 85 (3): 301-22. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0424-3>.
- Neethirajan, S., M.S. Freund, D.S. Jayas, C. Shafai, D.J. Thomson, et N.D.G. White. 2010. « Development of Carbon Dioxide (CO₂) Sensor for Grain Quality Monitoring ». *Biosystems Engineering* 106 (4): 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.05.002>.
- Reed, Carl, et Frank H. Arthur. 2000. « Aeration ». In *Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM*, édité par Bhadriraju Subramanyam et David W. Hagstrum, 51-72. Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4353-4_3.