

DES DRONES À L'HORIZON

TRANSFORMER L'AGRICULTURE EN AFRIQUE



À propos de l'UA et du NEPAD

L'Union africaine (UA)

L'Union africaine (UA) est une union continentale regroupant l'ensemble des 55 pays du continent africain. Elle a été créée le 26 mai 2001 à Addis-Abeba, en Éthiopie, et inaugurée le 9 juillet 2002 en Afrique du Sud afin de remplacer l'Organisation de l'unité africaine (OUA). Les décisions les plus importantes de l'UA sont prises par la Conférence de l'Union africaine, une réunion semestrielle des chefs d'État et de gouvernement des États membres de l'Union. Le secrétariat de l'UA, la Commission de l'Union africaine, est basé à Addis-Abeba.

L'UA a été créée à la suite de la déclaration de Syrte du 9 septembre 1999 adoptée par les chefs d'État et de gouvernement de l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA). L'UA repose sur une vision commune d'une Afrique forte et unie, ainsi que sur la nécessité d'établir un partenariat entre les gouvernements et toutes les composantes de la société civile – en particulier les femmes, les jeunes et le secteur privé – pour renforcer la solidarité et la cohésion entre les peuples d'Afrique. En tant qu'organisation continentale, elle concentre ses activités sur la promotion de la paix, de la sécurité et de la stabilité. Le travail de développement mené par l'UA s'appuie sur l'Agenda 2063 de l'UA, un plan sur cinq ans pour tirer parti de l'avantage comparatif de l'Afrique afin de concrétiser la vision de « L'Afrique que nous voulons ».



Le Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique (NEPAD)

Créé par l'Union africaine, le Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique (NEPAD) est un cadre stratégique pour le développement socio-économique panafricain. Le NEPAD est exécuté sous l'égide des dirigeants africains afin de relever les défis cruciaux auxquels le continent est confronté, comme la pauvreté, le développement et la marginalisation internationale de l'Afrique. Le NEPAD offre aux pays africains des occasions uniques de prendre pleinement le contrôle de leurs programmes de développement, de collaborer plus étroitement entre eux et de coopérer plus efficacement avec des partenaires internationaux.

Le NEPAD est coordonné et facilité par l'Agence de planification et de coordination du NEPAD (Agence du NEPAD), créée en février 2010 à la suite de l'intégration du NEPAD aux structures et processus de l'UA. L'Agence du NEPAD gère plusieurs programmes et projets répartis dans quatre portefeuilles d'investissement : Gestion des ressources naturelles ; Jeunesse et développement des compétences ; Intégration, infrastructures et commerce régionaux ; Industrialisation, sciences, technologies et innovation.

Membres du Panel de haut niveau africain sur les technologies émergentes

Co-présidents

(Feu) Calestous Juma, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, États-Unis

Yaye Kène Gassama, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal

Membres du Panel

Abdallah Daar, University of Toronto, Canada

Berhanu M. Abegaz, African Academy of Sciences, Éthiopie

Francine Ntumi, Fondation congolaise pour la recherche médicale, Congo-Brazzaville

Karim Maredia, Michigan State University (MSU), East Lansing, Michigan, États-Unis

Oye Ibidapo-Obe, Federal University Ndufu Alike, Ikwo (FUNAI), Nigeria

Rachel Chikwamba, Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Afrique du Sud

Roseanne Diab, Academy of Science of South Africa (ASSAf), Afrique du Sud

Shireen Assem, Agricultural Genetic Engineering and Biotechnology Research Institute (AGERI), Égypte

Secrétariat

Aggrey Ambali (Coordonnateur) – Agence du NEPAD

Diran Makinde – Agence du NEPAD

Towela Nyirenda-Jere – Agence du NEPAD

Jeremy Tinga Ouedraogo – Agence du NEPAD

Hlazo Mkandawire – Agence du NEPAD

Hudu Mogtari – Agence du NEPAD

Justina Dugbazah – Agence du NEPAD

Margaret Mahlomuza – Agence du NEPAD

Barbara Glover – Agence du NEPAD

Mahama Ouedraogo – Commission de l'Union Africaine

Monica Idinoba – Commission de l'Union Africaine

Hambani Masheleni – Commission de l'Union Africaine

Kate Bauer – Harvard University

Recherche

Frederick Mbuya (Uhurulabs), **Giacomo Rambaldi** (Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE), **Hamza Rkha Chaham** (AIRINOV), **Kassahun Takele Maru** (Haramaya University), **Ademola Omojola** (University of Lagos), **Paxie Chirwa** (University of South Africa), **Diran Makinde** (Agence du NEPAD), **Chris Leaver** (University of Oxford), **Towela Nyirenda-Jere** (Agence du NEPAD), **Aggrey Ambali** (Agence du NEPAD), **Walter Alhassan** (Biotechnology and Stewardship for Sustainable Agriculture in West Africa).

Remerciements

Nous remercions les différents experts, identifiés par le panel de haut niveau, qui ont apporté des contributions et formulé des commentaires sur les versions antérieures de ce rapport.

L'Agence du NEPAD exprime sa reconnaissance au Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) pour avoir assuré la revue, et la traduction de ce rapport de l'anglais vers le français.

Table des matières

À propos de l'UA et du NEPAD	i
L'Union africaine (UA).....	i
Le Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique (NEPAD).....	i
Membres du Panel de haut niveau africain sur les technologies émergentes	ii
Co-présidents.....	ii
Membres du Panel.....	ii
Secrétariat.....	ii
Recherche.....	ii
Remerciements.....	ii
Figures	v
Tableaux	v
Acronymes	vi
Résumé	1
1 Introduction	4
2 Une analyse critique de l'utilisation des drones dans l'agriculture de précision	6
2.1 Types de drones.....	6
2.1.1 Les UAV multi-rotors.....	7
2.1.2 Les UAV à voilure fixe.....	8
2.1.3 Les UAV à décollage et atterrissage vertical (DAV).....	8
2.2 Nouvelles applications civiles de la technologie des drones.....	8
2.2.1 Cartographie et arpentage.....	8
2.2.2 Régime foncier et aménagement du territoire.....	9
2.2.3 Livraison de marchandises.....	9
2.2.4 Gestion des actifs agricoles.....	9
2.2.5 Recherche scientifique.....	10
2.2.6 Compagnies d'assurances et évaluation des dégâts.....	10
2.3 Technologies complémentaires.....	11
2.4 Degré de maturité/possibilité de mise en œuvre.....	13
2.4.1 Demande du marché.....	13
2.4.2 État de la réglementation et des infrastructures.....	13

3	Utilisation concrète des drones en Afrique	14
3.1	Utilisation à l'échelle nationale	14
3.1.1	Aménagement du territoire et régime foncier	14
3.1.2	Petites exploitations agricoles et agrobusiness	14
3.1.3	Opérations humanitaires et de secours d'urgence	15
3.1.4	Surveillance et contrôle	15
3.1.5	Surveillance et protection de la faune sauvage	15
3.1.6	Livraison de frets	16
3.2	Utilisation à l'échelle régionale	16
4	Politique publique et systèmes réglementaires	17
4.1	Gouvernance	17
4.2	Politiques et réglementations	18
5	Défis et solutions envisagées	20
5.1	Défis technologiques	20
5.2	Défis économiques	21
5.3	Défis juridiques	22
5.4	Défis sociaux	24
6	Possibilités de progrès rapides	27
6.1	Partenariats public-privé	27
6.2	Recherche et développement	27
6.3	Renforcement des capacités et émergence de nouvelles entreprises	27
6.4	Propriété intellectuelle	28
6.5	Un intérêt croissant de la part des agences de développement	28
6.6	Baisse des coûts liés à la technologie des drones	28
6.7	Demande élevée d'informations exploitables en temps opportun	29
6.8	Accès généralisé à des images satellitaires de qualité et gratuites	29
6.9	Contrôle et surveillance des ressources naturelles	29
6.10	Des solutions faciles à déployer pour atteindre les zones difficilement accessibles	29
7	Conclusion	30
8	Recommandations	31
9	Bibliographie	33

Figures

Figure 1 : Exemples de multi-rotors	7
Figure 2 : Exemples d'UAV à voilure fixe	8
Figure 3 : Exemples d'UAV à DAV	8
Figure 4 : Architecture de gouvernance pour les UAS	18
Figure 5 : Situation des réglementations relatives aux UAV en Afrique	19

Tableaux

Tableau 1 : Classification des drones par taille et par poids	6
--	---

Acronymes

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ANAC	Autorité nationale de l'aviation civile
CAE	Communauté de l'Afrique de l'Est
CE	Commission Européenne
CPA	Aéronef à pilotage conventionnel
CTA	Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE
DAV	Décollage et atterrissage vertical
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FSD	Fondation suisse de déminage
GNSS	Système mondial de navigation par satellite
GPS	Système de positionnement mondial
LAI	Indice de surface foliaire
NDVI	Indice de végétation par différence normalisée
NEPAD	Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
ODD	Objectifs de développement durable
PAM	Programme alimentaire mondial
PI	Propriété intellectuelle
PIC	Programme d'intensification des cultures

PPP	Partenariat public-privé
PRI	Indice de réflectance photochimique
PwC	PricewaterhouseCoopers
R&D	Recherche et développement
ROMEO	Remotely Operated Mosquito Emission Operation (Opération télécommandée de lâcher de moustiques)
RPAS	Système d'aéronef télé-piloté (drone)
SIG	Système d'information géographique
TIC	Technologies de l'information et de la communication
UA	Union Africaine
UAS	Système aérien sans pilote (système de drone)
UAV	Véhicule aérien sans pilote (drone)
UE	Union Européenne
UNICEF	Fonds des Nations unies pour l'enfance
USAID	Agence des États-Unis pour le développement international
UNICEF	United Nations Children's Fund
USAID	United States Agency for International Development
VTOL	Vertical Take-off and Landing
WFP	World Food Programme

Résumé

Ce rapport présente une analyse des drones, technologie essentielle pour l'agriculture de précision, et de leurs différentes applications visant à fournir des données spécifiques et à la demande pour améliorer la prise de décision des agriculteurs et faciliter ainsi l'appui nécessaire.

Le drone, outil de l'agriculture de précision, est mis au service de la gestion agricole car il mesure la variation inter-parcellaire et intra-parcellaire dans les cultures et l'élevage et y apporte des solutions. Il ne s'agit pas de simple application de nouvelles technologies, mais d'une révolution de l'information, qui peut aboutir à des systèmes de gestion agricole plus précis et plus efficaces. Les drones, aussi appelés « véhicules aériens sans pilote » (UAV) ou « systèmes aériens sans pilote » (UAS) – cette dernière dénomination incluant le capteur, les logiciels et d'autres composantes –, ont de nombreuses applications : cartographie et arpentage, régime foncier et aménagement du territoire, inspection, suivi et surveillance, livraison de marchandises, recherche scientifique, gestion des actifs agricoles, assurances, évaluation des dommages causés aux cultures/infrastructures, etc.

La technologie des UAS a plusieurs applications importantes dans l'agriculture : dépistage/surveillance des cultures, évaluations du volume et de la vigueur des cultures, inventaire des cultures (ou comptage des plants individuels), production de cartes de prescription (comme des recommandations relatives au dosage d'engrais azoté pour des emplacements spécifiques), pulvérisation de précision, inspection des infrastructures agricoles (y compris des systèmes d'irrigation), cartographie en haute résolution et arpentage des différents champs (définition des limites des exploitations et calcul des superficies cultivées, par exemple), évaluation des dommages causés aux cultures et analyse des déclarations de sinistre. Les drones équipés des capteurs appropriés sont capables de produire des données de télédétection presque en temps réel sur le terrain, sans le retard lié à l'acquisition de données par imagerie satellite et aérienne.

Contrairement aux satellites, les drones peuvent voler et enregistrer des images en très haute résolution sous la couverture nuageuse et aux intervalles de temps voulus. C'est précisément cette facilité et cette vitesse d'acquisition des images par drone qui offrent le plus grand potentiel pour améliorer la réactivité des agriculteurs face à la nécessité d'intervenir dans les champs cultivés. Toutefois, les drones équipés de capteurs enregistrent des données, et non des informations, et les utilisateurs – notamment les producteurs – veulent des informations qu'ils pourront interpréter et utiliser, et non des données. Dès lors, toutes les données enregistrées par les drones doivent être converties en informations exploitables pour les agriculteurs.

Le déploiement de la technologie des drones en Afrique est confronté à des défis qui lui sont propres et qui peuvent être classés en quatre grandes catégories – défis technologiques, économiques, sociaux, et juridiques. Parmi ceux-ci figurent la capacité, la fiabilité et l'autonomie de la batterie : lorsqu'elles sont entièrement chargées, les batteries commerciales pour les UAV de petite taille permettent d'effectuer des vols de 24 à 40 minutes avant de devoir être remplacées. Le fait que les UAV dépendent des communications avec un opérateur au sol pour en assurer le contrôle les rend vulnérables (pertes de signal en cas d'interférences, sortie de la portée du signal ou piratage). Si la demande et l'offre de services d'UAS augmentent de façon exponentielle pour les monocultures sur de vastes exploitations, l'adoption de la technologie des UAV dans le cadre des systèmes agricoles multi-cultures à petite échelle dans les pays africains demeure difficile.

Plus important encore, le secteur des UAV requiert une main-d'œuvre qualifiée, capable de planifier des itinéraires de vol, de piloter des UAV, d'utiliser des logiciels de système d'information géographique (SIG) et d'analyse de données, d'interpréter des données et de formuler des conseils en matière de planification agronomique ou d'aménagement du territoire. Les défis sociaux comprennent toute une série de problèmes concernant la sécurité, le respect de la vie privée, la collecte, le stockage et la gestion des données, les nuisances ou les dommages occasionnés aux personnes et aux animaux, les dommages matériels, l'emploi, etc. Les réglementations relatives aux UAV en sont encore à leurs balbutiements en Afrique, et l'élaboration et la présence de réglementations trop contraignantes, voire handicapantes, régissant l'importation et l'utilisation des UAV peuvent compromettre le développement d'une industrie très prometteuse, susceptible d'attirer et d'engager les jeunes ruraux ayant fait des études. Dans certains cas, des organismes publics et le secteur privé travaillent déjà sur des solutions décrites dans le présent rapport.

En conclusion, ce rapport considère que l'utilisation de la technologie des drones au service d'une agriculture de précision pourrait changer la donne pour le continent, et recommande de donner la priorité à l'adoption, au déploiement et à la généralisation du recours aux UAS dans le contexte de l'agriculture de précision. Les principaux domaines à envisager dans le cadre de l'expansion de cette technologie et de l'exploitation de son potentiel sont notamment le renforcement des capacités, la présence d'infrastructures d'appui, le renforcement de la réglementation, la recherche et le développement, ainsi que l'implication des parties prenantes. À cet égard, le groupe adresse les recommandations suivantes aux organes de l'UA, aux États membres et aux communautés économiques régionales :

À l'échelle nationale

- Évaluer le coût d'opportunité de la technologie des UAV en incluant les facteurs extérieurs et le mettre en relation avec les résultats escomptés, comme la sécurité alimentaire, l'amélioration de la santé et la capacité potentielle des drones à susciter l'intérêt des jeunes pour l'agriculture.
- Veiller à ce que les parties prenantes soient associées à tous les aspects liés à l'introduction de la technologie des UAV, de façon à pouvoir comprendre et gérer systématiquement toute forme de résistance éventuelle.
- Mener des actions de sensibilisation du grand public aux UAS et à leurs applications civiles, afin d'établir une distinction claire entre les usages civils et militaires et de garantir une meilleure acceptation de cette technologie par le public. Il convient d'aborder les questions relatives à la sécurité, à la sûreté et à la vie privée dans le cadre de ce processus.
- Remédier aux obstacles financiers et techniques qui entravent l'adoption, par des subventions, la création de petites et moyennes entreprises ou de coopératives agréées, et instaurer un cadre favorable pour la gestion et la réglementation des drones afin de faciliter leur adoption (avec un système de permis et d'enregistrement).
- Encourager et soutenir les partenariats public-privé pour favoriser l'adoption de la technologie des UAV.
- Veiller à la mise en place de réglementations nationales appropriées relatives aux UAV. Ces réglementations devraient trouver un compromis entre les préoccupations liées à la sécurité publique, d'une part, et le besoin d'encourager l'innovation, le développement économique et l'entrepreneuriat chez les jeunes, d'autre part. Dans ce contexte, il convient d'encourager les autorités nationales de l'aviation civile à instaurer des cadres réglementaires favorables, permettant le déploiement et la généralisation de la technologie des UAV au service de l'agriculture de précision.
- Allouer des ressources à la R&D (coûts et bénéfiques) et au renforcement des capacités pour créer une masse critique pour tous les aspects de la technologie des drones – pilotes agréés, scientifiques, régulateurs, etc.

- Appuyer, dans le contexte des petites exploitations agricoles, l'intensification des cultures en favorisant la plantation simultanée de mêmes cultures sur des parcelles contiguës, afin de former des exploitations plus larges et plus cohérentes, pouvant bénéficier des avantages offerts par la technologie des UAV pour l'agriculture de précision.

À l'échelle du continent

- Élaborer un cadre réglementaire continental pour l'utilisation des UAV en Afrique et harmoniser les politiques des différents pays et régions (communautés économiques régionales).
- Favoriser les collaborations, les partenariats, les réseaux et les échanges de connaissances Sud-Sud, triangulaires et régionaux pour faciliter la généralisation et l'utilisation de la technologie des drones.



1

Introduction

L'agriculture est le fondement du bien-être et de la lutte contre la pauvreté en Afrique. Cependant, face à l'augmentation du coût des intrants et à l'incertitude liée au climat, il est désormais nécessaire d'adopter des pratiques agricoles qui augmenteront les rendements avec moins d'intrants tout en optimisant les profits. Alors que le continent était autosuffisant dans les années 1960, l'Afrique est aujourd'hui malheureusement devenue un importateur net de céréales et d'autres produits agricoles. De plus, nourrir deux milliards de bouches – la population du continent devant doubler et passer de 1,25 milliard aujourd'hui à 2,5 milliards d'ici 2050 selon les prévisions – reste un défi de taille (Blein & Bwalya, 2013). L'optimisation des profits agricoles par l'augmentation de la productivité et l'amélioration des rendements a bénéficié de plusieurs innovations au fil des ans, dont l'utilisation de la technologie des drones. Néanmoins, si toutes ces avancées, la révolution verte en particulier, ont profité à de nombreux pays en développement, cela n'a pas été le cas de l'Afrique. Ce scénario se base sur l'hypothèse que des politiques favorables à la promotion de ces technologies de drone seront mises en place.

L'agriculture de précision est une méthode consistant à appliquer des traitements au bon endroit et au bon moment (Gebbers & Adamchuk, 2010). Cette forme d'agriculture est considérée comme un système de production agricole moderne, reposant sur différentes technologies (Yao & Wu, 2011) basées sur la détection des variations sur le terrain, et consistant à appliquer chaque intrant en fonction de ces variations (Robert, 2002). Un élément clé est l'utilisation de systèmes de positionnement global (GPS) et de données géographiques spatio-temporelles, qui sont des facteurs de précision essentiels. Les applications GPS employées dans l'agriculture de précision servent par exemple à assurer la planification agricole, la cartographie des terrains, l'échantillonnage des sols, le guidage des tracteurs, le dépistage des cultures, la modulation des intrants et la cartographie des rendements. Le système GPS permet également aux agriculteurs de travailler quand la visibilité sur le terrain n'est pas optimale, comme en cas de pluie, de poussière, de brouillard et dans l'obscurité (Zarco-Tejada, 2014).

Selon Zarco-Tejada *et al.* (2014), l'agriculture de précision est cruciale pour assurer la viabilité de la production agricole et réduire au maximum les dégâts environnementaux. Voici quelques exemples : la réduction du lessivage des nitrates, l'utilisation plus efficace de l'eau et l'amélioration du rendement des carburants. L'agriculture de précision a donc recours à diverses méthodes, comme les SIG (Talebpour, Türker, & Yegül, 2015) et la télédétection, et en particulier les données spatialisées et acquises au bon moment par des drones. Si les techniques de SIG se sont développées pour mieux appuyer les décisions agricoles, l'arrivée récente de données géographiques flexibles, spécifiques et produites au bon moment par des drones améliore davantage les applications de l'agriculture de précision. Voici quelques-uns des nombreux avantages que présente l'agriculture de précision pour les agriculteurs commerciaux et les petits exploitants :

- **Avantages économiques** : L'agriculture de précision permet de gérer une parcelle de terre dans un champ avec différents niveaux d'intrants en fonction du rendement potentiel des cultures (Ajewole *et al.*, 2016). Par conséquent, l'utilisation d'intrants sur des parcelles spécifiques de l'exploitation peut être optimisée, de façon à améliorer et à augmenter la production et les profits (Godwin, Wood, Taylor, Knight, & Welsh, 2003). Toutefois, l'analyse coûts-

bénéfices de l'application de l'agriculture de précision dépendra du type d'agriculture pratiquée et de la nature de l'obstacle ou de la menace compromettant l'augmentation du rendement.

- **Avantages environnementaux** : Godwin *et al.* (2003) ont indiqué que l'agriculture de précision contribue à protéger l'environnement de la pollution grâce à l'application précise des engrais et pesticides. Par exemple, la modulation des engrais permet de réduire les pertes d'azote (Robertson *et al.*, 2007). Les agriculteurs peuvent alors facilement se conformer aux restrictions légales relatives à l'utilisation de produits agrochimiques (Stoorvogel & Bouma, 2005). Pour une utilisation efficace de l'eau, l'agriculture de précision permet de réduire le gaspillage par rapport à l'arrosage uniforme ou à d'autres systèmes d'irrigation (Hendriks, 2011).
- **Réduction des risques** : L'agriculture de précision permet de gérer chaque site individuellement, ce qui permet d'identifier les problèmes de croissance et réduire ainsi la variabilité des rendements nets (Ajewole *et al.*, 2016). Les informations relatives au sol et à la météo peuvent par exemple être exploitées pour améliorer la planification des opérations et optimiser ainsi le taux d'utilisation des machines. Résultat : le risque de pollution peut être réduit, tout comme le coût de production d'une culture dans une zone spécifique.

Ces derniers temps, les drones sont devenus une technologie parmi les plus médiatisées et les plus fascinantes au monde, utilisée par diverses professions allant du journalisme au travail humanitaire, en passant par l'agriculture. Le vocabulaire utilisé pour décrire cette technologie s'est également étoffé et prête souvent à confusion. Il est donc utile de comprendre les différents termes utilisés dans ce domaine. « Drone » est le terme le plus fréquemment employé, mais les abréviations « UAV » (véhicule aérien sans pilote) et « UAS » (système aérien sans pilote) sont aussi de plus en plus souvent utilisées. Dans la plupart des cas, on considère que les termes « drone » et « UAV » sont quasiment des synonymes, tandis que « UAS » est un terme de référence désignant à la fois l'UAV, la station de commande au sol et le système de communication entre ces deux composantes (UAV Insider, 2013).

La pertinence du lien entre agriculture de précision et drones pour accroître le bien-être socio-économique de l'Afrique, en améliorant la production alimentaire et les méthodes agricoles, est spécifiquement mentionnée dans plusieurs objectifs de développement durable (ODD), en particulier dans les ODD n° 1 et 2, ainsi que dans les aspirations n° 1 et 5 de l'Agenda 2063 de l'UA – « L'Afrique que nous voulons ». En outre, les effets de cette initiative de l'UA devraient se combiner avec ceux des piliers n° 1 et 6 de la Stratégie pour 2024 – Sciences, technologies et innovation pour l'Afrique (STISA-2024).

Une analyse critique de l'utilisation des drones dans l'agriculture de précision

De nombreuses études pilote, recherches et activités exploratoires ont été menées pour évaluer la technologie des drones en Afrique. Ces initiatives ont tenté de déterminer dans quels secteurs les drones pourraient profiter immédiatement au continent et de veiller à ce que les pays africains soient prêts à adopter cette technologie qui continue d'évoluer et d'offrir de nouvelles applications potentielles. (Efron, 2015) (Hardy, Makame, Cross, Majambere, & Msellem, 2017) (Makoye, 2016) (de Klerk, Droogers, Simons, & van Til, 2016) (Look, 2013).

Les drones peuvent contribuer au développement du continent, car cette nouvelle technologie offre à l'Afrique la possibilité de faire un bond en avant. Afin de comprendre tout le potentiel de l'utilisation des drones dans l'agriculture de précision et comment l'Afrique pourrait en tirer parti d'autres façons, il est important d'examiner en détail cette technologie et d'étudier ses composantes ainsi qu'une série d'applications choisies.

2.1 Types de drones

La gamme des drones disponibles sur le marché ne cesse de s'élargir et cette tendance devrait se renforcer à l'avenir, ce qui signifie qu'il est capital de commencer par évaluer les besoins en matière d'UAV avant d'examiner les options possibles. Pour choisir un drone, il convient de prendre d'abord en considération trois éléments déterminants : l'autonomie de vol, la capacité de charge et le poids total. Ces trois variables sont interdépendantes : l'autonomie de vol, par exemple, est souvent liée à la qualité et aux capacités de la batterie, qui, de son côté, influence le poids total de l'engin. Le poids constitue souvent le point de base sur lequel s'appuient les directives réglementaires, étant donné que le poids d'un aéronef est directement lié au risque opérationnel qu'il présente. Des exemples de classification par poids et par taille sont fournis dans le tableau 1.

Tableau 1: Classification des drones par taille et par poids

Classe	Masse brute maximale au décollage	Taille
Micro	<1 kg	Aucun composant du drone ne dépasse 50 cm
Mini	1-5 kg	Aucun composant du drone ne dépasse 200 cm
Petit	5-10 kg	Aucun composant du drone ne dépasse 500 cm
Moyen	10-25 kg	
Large	>25 kg	

Le deuxième critère important pour faire un choix est le mode de commande, qui peut se classer dans l'une des catégories suivantes :

- **Commande manuelle complète** : Le pilote exerce un contrôle total sur l'aéronef, sans assistance.
- **Commande manuelle assistée** : Le pilote contrôle l'aéronef, avec l'aide de capteurs montés sur l'engin, comme des accéléromètres, des détecteurs d'inclinaison ou des capteurs GPS.
- **Commande semi-automatique** : Le pilote est généralement chargé de planifier le vol, en configurant notamment des paramètres comme les points de cheminement (ou *waypoints* – points ou lieux intermédiaires sur un itinéraire ou une trajectoire) et la vitesse lors du lancement du drone. Cependant, une fois que le drone a décollé, le pilote automatique prend le relais et le pilote ne doit intervenir qu'en cas d'urgence ou de modification du plan de vol.
- **Commande entièrement automatique** : Une fois que l'aéronef a décollé, le pilote n'a plus aucun contrôle dessus.

Outre le mode de commande, il existe un autre système de classement des UAV, basé sur trois catégories. Les types les plus courants sont les multi-rotors (ou multicoptères) et les aéronefs à voilure fixe. Les aéronefs à voilure fixe sont généralement capables de couvrir une zone beaucoup plus vaste que les multi-rotors, qui sont pour leur part plus faciles à piloter et à commander manuellement. Cependant, il existe également une catégorie d'UAV hybrides, qui se développe rapidement et présente l'avantage de combiner le décollage vertical des multi-rotors tout en ayant la qualité de couverture des UAV à voilure fixe.

2.1.1 Les UAV multi-rotors

Les multi-rotors (figure 1) sont actuellement les drones les plus populaires et se définissent comme des UAV qui utilisent au moins trois pales pour s'élever dans les airs et se déplacer. Des entreprises comme DJI¹ et Parrot² ont réussi à banaliser les drones de type multi-rotors en faisant baisser les prix et en supprimant ainsi les obstacles à l'utilisation des UAV. La mécanique de rotor simple utilisée dans ces UAV a sensiblement contribué à réduire la complexité du pilotage de tels engins. Grâce à leur commande de vol améliorée, les multi-rotors ont été utilisés à grande échelle dans des domaines tels que la photographie aérienne et l'inspection de sites. L'un de leurs principaux avantages par rapport aux UAV à voilure fixe réside dans leur capacité à décoller et atterrir verticalement, ce qui signifie qu'ils ont besoin de très peu d'espace pour se déployer.

Figure 1: Exemples de multi-rotors



1 www.dji.com

2 www.parrot.com

2.1.2 Les UAV à voilure fixe

Il existe deux grands types d'UAV à voilure fixe : les drones à aile volante (figure 2, à gauche) et la configuration plus classique en avion (figure 2, à droite). Les aéronefs à voilure fixe ont besoin de beaucoup plus d'espace que les multi-rotors pour décoller et atterrir. Toutefois, leur dynamique de vol plus efficace leur permet de couvrir des zones beaucoup plus vastes, ce qui en fait la solution idéale pour des applications comme la surveillance, l'arpentage et les activités agricoles à grande échelle.

Figure 2 : Exemples d'UAV à voilure fixe



2.1.3 Les UAV à décollage et atterrissage vertical (DAV)

Les drones à décollage et atterrissage vertical (DAV), ou drones hybrides, sont une innovation beaucoup plus récente et tirent parti de la capacité des multi-rotors à décoller et atterrir verticalement (figure 3).

Figure 3 : Exemples d'UAV à DAV



2.2 Nouvelles applications civiles de la technologie des drones

2.2.1 Cartographie et arpentage

Les UAV offrent un moyen de réaliser d'importants progrès par rapport aux méthodes traditionnelles d'arpentage des terres, car ils peuvent fournir des données précises pour accélérer la prise de décision. Les UAV peuvent être déployés rapidement et permettent de produire des données plus proches de ceux qui les utiliseront, ainsi que des ensembles de données plus complets,

plus précis et en plus haute résolution que les caméras traditionnelles. Ces données peuvent ensuite servir à créer des cartes pour l'aménagement du territoire, l'établissement et/ou la vérification du cadastre, la réinstallation, etc. (Zanzibar Commission for Lands, 2017). Les données produites par ces études permettent également de faire des recherches pour déterminer comment des UAV à faible coût peuvent être utilisés pour créer des simulations de modèles d'inondation, ce qui permettrait de ne plus devoir utiliser des aéronefs coûteux et complexes avec pilote. Cette possibilité est démontrée par Soesilo (2015) dans le cadre de l'acquisition de drones pour cartographier et modéliser les risques d'inondation à Dar es Salaam, en Tanzanie.

Avant l'arrivée des UAS, la collecte de données pour la cartographie et l'arpentage était effectuée via des agents qui se rendaient sur le terrain ou des aéronefs traditionnels avec pilote, ou encore par imagerie satellite. Aux États-Unis, et dans beaucoup d'exploitations en Europe, la technologie GPS et d'autres technologies associées sur les tracteurs effectuent aujourd'hui certaines des tâches dont les drones pourraient se charger. L'une des limites générales de la cartographie par UAV réside dans le fait que seules les caractéristiques qui apparaissent directement sur les images aériennes peuvent être modélisées. Il est toujours nécessaire d'avoir recours à des méthodes traditionnelles pour modéliser les caractéristiques « cachées ». Toutefois, l'aspect de la technologie des UAV peut-être le plus prometteur est la réduction considérable du capital et des compétences nécessaires pour collecter les données, ainsi que la capacité de déploiement rapide sur le terrain pour réaliser des activités d'inspection, de suivi et de surveillance. Face à la demande de ressources naturelles qui ne cesse d'augmenter, il est capital de pouvoir suivre de près et obtenir des informations précises et actuelles sur les taux de déforestation et la dégradation des sols, par exemple. Les UAV offrent d'excellentes possibilités d'observer à distance et de recueillir des preuves en haute résolution.

2.2.2 Régime foncier et aménagement du territoire

Les UAV peuvent servir à accélérer le processus d'enregistrement des terrains, en facilitant l'évaluation des régimes fonciers et l'établissement des titres fonciers. L'accès à la terre est un élément crucial pour permettre aux millions de personnes qui vivent dans les zones rurales d'Afrique de manger à leur faim. Même si les personnes concernées exercent d'autres métiers, la culture de la terre offre un filet de sécurité vital en période d'instabilité économique et contribue à la définition des cultures et des identités. Le fait que seulement 10 % des terres rurales soient cartographiées et enregistrées constitue un énorme obstacle pour remédier à certains des problèmes d'insécurité de base rencontrés par la majorité de la population africaine. Dans un environnement urbain, un UAS peut produire rapidement et avec précision des données et des modèles numériques d'élévation en haute résolution immédiatement utilisables pour l'aménagement du territoire, la vérification, la correction ou le réaligement des limites cadastrales, le développement ou la modernisation des infrastructures et d'autres usages.

2.2.3 Livraison de marchandises

Lorsque l'acheminement de petits colis par voie routière devient difficile, les UAV offrent une solution alternative au système de transport traditionnel en assurant une livraison aérienne rapide. Au moment de la rédaction du présent rapport, les aspects économiques de ce type d'application en Afrique étaient à l'étude à Madagascar, au Malawi et au Rwanda (voir la section 5.4).

2.2.4 Gestion des actifs agricoles

Les UAS offrent diverses possibilités intéressantes pour améliorer la gestion des actifs agricoles. Les UAS permettent aux agriculteurs d'avoir une vue d'ensemble de leurs cultures, par laquelle ils peuvent détecter des changements infimes difficilement repérables par des observateurs au sol. Les UAV équipés de capteurs spécialisés sont capables de recueillir des images multi-spectrales pour produire des données relatives aux cultures comme un indice de végétation par différence normalisée (NDVI), un indice de surface foliaire (LAI) ou encore un indice de réflectance photochimique (PRI) qui mesure l'efficacité d'utilisation de la

lumière photosynthétique, ce qui permet aux utilisateurs de visualiser des changements dans les cultures ou des conditions de stress invisibles à l'œil nu.

Le NDVI fournit des informations sur les différents niveaux de biomasse sur une même parcelle. Les images NDVI interprétées fournissent des informations détaillées sur le stress hydrique, les carences en nutriments, les infestations parasitaires, les maladies des cultures et d'autres problèmes affectant la croissance des cultures. Les indicateurs liés à l'imagerie, comme le NDVI, fournissent un premier ensemble d'informations qui peuvent être complétées par des données recueillies lors de visites sur le terrain ou au moyen d'un algorithme conçu à cet effet. Il existe par exemple déjà des algorithmes de fertilisation, qui convertissent des indicateurs d'imagerie en indicateurs agronomiques pour guider l'application d'engrais.

Les données produites par des drones peuvent aussi accélérer le processus d'inventaire des cultures et d'estimation des rendements. Les éleveurs de bétail peuvent aussi utiliser des UAV pour déterminer où se trouve leur bétail, et certains ont trouvé que les UAS étaient utiles pour contrôler régulièrement l'état des clôtures (Greenwood, 2016). En Afrique, de plus en plus d'efforts sont déployés pour améliorer les possibilités d'accès au crédit pour les agriculteurs : la collecte de données précises, mises à jour et définies dans l'espace concernant la localisation et la taille d'une exploitation, ses cultures sur pied, la santé de ses cultures et leur biomasse peut contribuer à améliorer l'évaluation de la solvabilité des agriculteurs. L'utilisation de cette technologie sur le terrain est actuellement à l'essai en Ouganda (Rambaldi G., communication personnelle, 2017).

2.2.5 Recherche scientifique

Les UAV sont couramment utilisés dans la recherche scientifique. La littérature mentionne diverses utilisations des UAV, par exemple pour mener des recherches archéologiques, mesurer un niveau de contamination, analyser les nuages de cendres produits par des éruptions volcaniques, étudier des régions côtières, surveiller les glaciers, identifier des espèces végétales ou classifier des phénotypes, dresser un inventaire de végétaux ou de gibiers, etc.

Dans le domaine de la recherche agricole, les données en haute résolution collectées aux intervalles voulus par le capteur d'un UAV constituent, une fois analysées et interprétées, des données statistiques fiables et objectives pour comparer différentes micro-parcelles d'une même culture à un stade de développement donné, ainsi que pour mieux comprendre le cycle de culture. Les données en haute résolution (par ex. 1 cm/pixel) recueillies par télédétection peuvent fournir des informations sur la quantité d'azote absorbée, les apparitions de ravageurs et leur répartition, les maladies et les mauvaises herbes, le stress hydrique, la densité de plantation, les étapes de développement des végétaux, la biomasse fraîche, la matière sèche, etc. En fonction de la culture examinée, les indicateurs qui peuvent être générés sont notamment le NDVI, le LAI, le PRI, ainsi que l'indice de végétation vert par différence normalisée, l'indice de bord rouge par différence normalisée, l'indice de chlorophylle totale (Cab, c'est-à-dire que la chlorophylle a et b sert d'indicateur pour déterminer l'état actuel d'un peuplement forestier et alimente aussi différents modèles de végétation physiologiques), la quantité de chlorophylle par unité de surface, etc.

2.2.6 Compagnies d'assurances et évaluation des dégâts

Les agriculteurs du monde en développement commencent progressivement à investir dans des régimes d'assurance agricole, mais les retards de paiement des indemnités d'assurance peuvent occasionner un stress supplémentaire aux communautés touchées. En Inde, le gouvernement national encourage la mise en place d'un régime d'assurance d'envergure nationale appuyé par la technologie des UAV pour faciliter l'évaluation et accélérer l'indemnisation des dégâts causés par des catastrophes, permettant de réduire les difficultés financières rencontrées par les petits agriculteurs (Garg, 2016). Des réassureurs de premier plan, comme Munich Re, ont conclu des partenariats avec des fournisseurs de services de données par UAV pour améliorer les expertises en

assurance dans le monde entier en réduisant le temps de réaction et en renforçant l'exactitude des rapports après une catastrophe naturelle (PrecisionHawk, 2016). Pour les secteurs du développement et de l'aide humanitaire, l'adoption par les assureurs des services de données par UAV offre la possibilité de réduire les difficultés rencontrées par les communautés touchées après une catastrophe naturelle.

2.3 Technologies complémentaires

Il existe plusieurs technologies complémentaires communes à l'agriculture de précision et à l'utilisation de drones. Il est plus facile de comprendre ces technologies complémentaires en examinant les différentes étapes de la mise en œuvre d'une agriculture de précision. Gottard *et al.* (1995) ont révélé que, si le concept d'agriculture de précision est apparu très rapidement dans l'histoire de l'agriculture, on peut dire que cette pratique a été facilitée par le développement de technologies permettant de quantifier et de gérer de manière différenciée la variabilité naturelle des cultures.

L'apparition de la technologie GPS et des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) a fait évoluer l'agriculture de précision moderne. La capacité des agriculteurs et/ou des chercheurs à localiser précisément leur position dans un champ permet de créer des cartes de variabilité spatiale avec toutes les variables pouvant être mesurées (rendement des cultures, caractéristiques du terrain/topographie, teneur en matière organique, taux d'humidité, niveaux d'azote, pH, etc.). Le GNSS repose sur une constellation de satellites internationaux en orbite autour de la Terre, tels que le système américain GPS, le système russe Glonass, le système européen Galileo, le système chinois Beidou, etc. Ces satellites transmettent des informations spatiotemporelles précises à des récepteurs au sol. Les informations de localisation envoyées par plusieurs satellites sont réceptionnées par les stations de réception au sol à un moment précis, ce qui permet de déterminer la position exacte. L'accès à des informations de localisation précises à un moment donné permet de cartographier les mesures relatives aux cultures, aux sols et à l'eau. Les récepteurs GNSS, qui peuvent être emportés sur le terrain ou montés sur des tracteurs, permettent aux utilisateurs du système de revenir à des



endroits spécifiques pour prélever des échantillons ou appliquer les intrants adéquats. Les applications GNSS dans l'agriculture de précision sont utilisées pour la planification agricole, la cartographie des terrains, l'échantillonnage des sols, le guidage des tracteurs, le dépistage des cultures, les applications à débit variable et la cartographie des rendements. Le système GNSS permet également aux agriculteurs de travailler quand la visibilité est faible sur le terrain (pluie, poussière, brouillard et obscurité).

Une autre technologie facilitant l'agriculture de précision est le SIG, un outil composé d'un système de base de données matériel et logiciel utilisé pour collecter, stocker, récupérer, contrôler, analyser et afficher (sous la forme de cartes) des informations géographiques à référence spatiale. En termes très simples, le SIG combine la cartographie, l'analyse statistique et la technologie des bases de données. Orellana *et al.* (2006) affirment que la capacité du SIG à analyser et visualiser des environnements et des processus de travail agricoles s'est avérée très bénéfique pour le secteur agricole. Renforcer le SIG au moyen de couches de données sur l'occupation du sol s'est avéré utile pour les associations de cultivateurs, les compagnies d'assurances agricoles, les entreprises d'engrais et de semences, les entreprises de produits chimiques agricoles, les bibliothèques, les universités, les autorités publiques fédérales et étatiques, et les entreprises de services de SIG ou de télédétection à valeur ajoutée. Un autre élément tout aussi important pour l'emploi du GNSS et du SIG dans la modélisation de l'agriculture de précision est l'utilisation des données relatives aux rendements. Celles-ci sont collectées par des dispositifs de mesure des rendements des cultures qui sont installés sur les équipements de récolte. À partir de l'écran, les mesures du rendement sont enregistrées et stockées précisément à des intervalles réguliers (temps ou distance), tout comme les données de position reçues via le dispositif GPS. D'autres données, comme la distance et le nombre de pieds par chargement, le nombre de chargements et de parcelles, sont également enregistrées. Il est possible de créer des cartes des rendements en utilisant un logiciel de SIG.

La technologie de modulation des intrants est un autre outil de modélisation, basé sur du matériel agricole de terrain capable de contrôler précisément les opérations de labour et le taux d'application des intrants agricoles. Des régulateurs de modulation sont disponibles pour les engrais/produits agrochimiques granulaires, liquides et gazeux, ce qui permet aux agriculteurs d'ajouter la quantité d'intrants nécessaire à un endroit précis d'une parcelle en fonction des caractéristiques ou des exigences propres à cet endroit.

Une dernière technologie – et non des moindres – est celle des données de télédétection. Des données par image produites par télédétection des sols et des cultures sont traitées et ajoutées à une base de données SIG. Il existe trois sources de données de télédétection couramment utilisées dans l'agriculture : i) les capteurs proximaux ; ii) les capteurs aéroportés ; et iii) les capteurs satellitaires. Les capteurs proximaux portatifs (utilisés par exemple pour mesurer la fluorescence de la chlorophylle) sont principalement utilisés en recherche fondamentale : les données recueillies par ce type de capteur servent à établir des relations entre le comportement spectral et les paramètres biophysiques des cultures dans certaines situations de stress (nutritionnel, thermique, hydrique). Une fois agrégées, ces données de terrain sont transformées en indices de végétation qui sont ensuite mis en relation avec des paramètres agronomiques, comme l'indice de surface foliaire, la productivité et la biomasse, entre autres. Différentes études ont démontré que des caractéristiques physiques, telles que la texture, la perméabilité et la teneur en matière organique du sol, peuvent être mises en relation avec la réponse spectrale enregistrée par des images obtenues par télédétection (Leone *et al.*, 1995) (Thompson & Robert, 1994). Les températures thermiques (obtenues à partir d'images thermiques) ont également été utilisées pour étudier la teneur en eau et le tassement des sols. L'outil basé sur la télédétection le plus communément utilisé est le NDVI, qui a été mis en relation avec différentes variables agricoles (principalement le rendement) et employé pour identifier la variabilité dans des conditions de terrain.



2.4 Degré de maturité/possibilité de mise en œuvre

2.4.1 Demande du marché

La technologie des drones est considérée comme émergente et est donc assez nouvelle, surtout en Afrique. La possibilité d'appliquer la technologie des drones pour relever les défis de la production agricole dépendra de la demande (*pull*) de cette technologie et des principaux obstacles entravant l'accès à cette technologie en termes de coûts, d'infrastructures et de main-d'œuvre qualifiée, notamment. En cas de crise, beaucoup de pays africains n'hésiteront pas à avoir recours à des drones après avoir fait l'expérience de cette technologie pour définir les zones menacées d'inondation en Tanzanie (Soesilo & Bergtora Sandvik, 2016) et livrer des frets de sang à des fins médicales au Rwanda (Rwanda Biomedical Center, 2016), par exemple.

Récemment, de nombreux pays africains ont connu des infestations rapides de légionnaires d'automne dans les cultures de maïs, qui ont détruit plus de 200 000 ha de superficie agricole rien qu'au Ghana, par exemple. L'ampleur des dégâts dans les cultures et la progression de l'infestation ne sont pas connues à l'heure actuelle, de sorte qu'il est impossible de prendre des mesures de contrôle efficaces. L'utilisation de systèmes de télédétection, comme les drones (pas encore mis en place) pourrait permettre de déterminer l'ampleur et la progression de l'infestation afin d'établir des mesures de contrôle efficaces. Il s'agit d'un exemple de demande que les drones pourraient satisfaire.

2.4.2 État de la réglementation et des infrastructures

Environ 26 % des pays africains se sont dotés d'une réglementation relative aux UAV (<https://www.droneregulations.info>). D'autres pays ont légèrement modifié des réglementations déjà en vigueur, et les pays restants sont en train d'élaborer des réglementations relatives aux UAV ou n'ont encore pris aucune mesure en ce sens (voir la section 4.2). En outre, il convient de promouvoir la mise en place des infrastructures nécessaires pour encourager l'utilisation des drones, la formation au pilotage et l'exploitation des données recueillies par des drones. Maurice, le Maroc, le Rwanda, l'Afrique du Sud et la Tanzanie figurent parmi les pays où des UAV sont aujourd'hui déployés pour surveiller les cultures, mais le recours généralisé aux drones dans l'agriculture n'a pas encore gagné l'ensemble du continent.

Utilisation concrète des drones en Afrique

Les drones ont été utilisés en Afrique dans différents cas de figure intéressants. En voici quelques exemples.

3.1 Utilisation à l'échelle nationale

3.1.1 Aménagement du territoire et régime foncier

3.1.1.1 Régime foncier en Tanzanie

En 2016, le ministère tanzanien des Terres a mené un projet destiné à évaluer les UAS comme solution potentielle pour acquérir des images aériennes afin d'appuyer un programme national de droits fonciers. L'objectif de cette mission était de déterminer si les UAS sont une solution alternative viable pour remplacer les aéronefs avec pilote et les satellites comme sources d'images aériennes.

Une étude pilote a été menée et a abouti à des résultats très encourageants. L'objectif initial de 24 km² a été dépassé, puisque l'étude a examiné une superficie totale de 147 km² et réalisé un échantillonnage de la distance sur le terrain de 7 cm. Un deuxième objectif, qui était de déterminer les possibilités de précision absolue, a également été atteint à l'aide de points de contrôle au sol. Le ministère des Terres a pu confirmer la précision absolue à 2 cm près. Ces travaux menés en Tanzanie ont suscité beaucoup d'intérêt en Afrique et à l'échelle internationale (Makoye, 2016).

3.1.1.2 Initiative de cartographie à Zanzibar

En novembre 2016, la Commission des terres de Zanzibar a initié, en collaboration avec divers partenaires, un projet de cartographie de l'ensemble de l'archipel au moyen de drones à petite échelle, qui a permis de cartographier 80 % de la surface de Zanzibar. Le projet n'est pas encore terminé, mais 15 étudiants et quatre agents gouvernementaux ont déjà été formés, tandis que 20 certificats de commande de drones ont été remis à des étudiants et des arpenteurs gouvernementaux (Zanzibar Commission for Lands, 2017).

3.1.2 Petites exploitations agricoles et agrobusiness

3.1.2.1 Les UAS au service des petits agriculteurs au Mozambique

Face aux changements climatiques, bon nombre d'agriculteurs n'ont accès qu'à des informations exploitables limitées pour savoir où et quand utiliser les ressources disponibles, telles que l'eau, l'engrais et les semences. Au Mozambique, une intervention démontre que les conseils fournis par des agents de vulgarisation, qui utilisent des drones bon marché, ont aidé les agriculteurs à prendre des décisions éclairées pour utiliser l'eau de manière plus efficace dans les cultures et améliorer leurs rendements. Le projet « Third Eye » utilise des drones de loisir équipés de capteurs quasi-infrarouge et d'un logiciel sur mesure pour recueillir et analyser des données à l'échelle locale. Les informations ainsi obtenues sont présentées sous la forme de cartes et analysées avec les producteurs de haricots, de maïs et de riz. Le projet couvre une zone de 1800 hectares et concerne 2800 agriculteurs,

dont 71 % sont des femmes. Au total, 14 agents de vulgarisation ont été formés au pilotage de drones et au recueil, à l'analyse et à la présentation d'informations aux agriculteurs. Les données collectées pendant la mise en œuvre de ce projet indiquent que la production agricole a augmenté de 41 %, tandis que la consommation totale d'eau a baissé de 9 %, ce qui représente une augmentation de 55 % de la productivité de l'eau.

3.1.2.2 *Des services d'UAS au service d'une grande entreprise agricole au Maroc*

Au Maroc, les services d'UAS sont utilisés pour garantir une application efficace des engrais et améliorer la qualité des productions. « Les Domaines Agricoles », la plus grande entreprise agricole marocaine, a adopté la technologie des UAS et l'analyse agronomique pour améliorer l'efficacité des engrais et a annoncé avoir obtenu des résultats positifs en termes de rendements et de qualité des produits. Cette entreprise cultive notamment des agrumes et des plantes aromatiques.

3.1.3 Opérations humanitaires et de secours d'urgence

3.1.3.1 *Cartographie des risques d'inondation pour la prévention des catastrophes*

Avec une population estimée à cinq millions et un taux de croissance annuel de 8 %, la ville de Dar es Salam, en Tanzanie, est l'une des villes africaines qui se développent le plus vite. Plus de 70 % de sa population vit dans des quartiers informels et non aménagés, sans infrastructures adéquates. De plus, des périodes de précipitations abondantes survenant deux fois par an entraînent d'importants risques d'inondation. En 2015, un consortium regroupant des autorités locales, la Commission tanzanienne des sciences et technologies (*Tanzania Commission for Science and Technology*), deux universités et le Pôle d'innovation de Buni (*Buni Innovation Hub*) a supervisé la réalisation d'une carte détaillée de la ville. Des images aériennes avec une résolution de 5 cm et couvrant une zone de 88 km² ont été prises pendant une période de deux semaines au moyen d'UAV à voilure fixe. Cette carte est aujourd'hui utilisée dans le domaine de l'urbanisme, en particulier pour la réduction des risques de catastrophes et la prévention des catastrophes naturelles telles que les inondations, ainsi que des drames sanitaires, comme le choléra (Soesilo *et al.*, 2016).

3.1.4 Surveillance et contrôle

3.1.4.1 *Surveillance des installations portuaires au Maroc*

Des drones sont utilisés pour inspecter les installations portuaires à Casablanca et surveiller les travaux de construction en cours. Des vols sont régulièrement organisés au-dessus du port pour veiller à ce que les contractants respectent les délais convenus. Des images en haute définition enregistrées par des capteurs aéroportés sont utilisées par les autorités portuaires pour suivre l'avancement des travaux de construction en cours et éventuellement recueillir plus d'informations ou lancer des investigations sur les chantiers. Un drone multi-rotor volant à basse altitude permet d'obtenir un modèle en 3D qui est très utile en termes d'informations topographiques.

3.1.5 Surveillance et protection de la faune sauvage

En Afrique, les zones protégées sont confrontées à de graves problèmes. Les espèces sauvages protégées sont menacées par des activités illégales comme le braconnage. Si l'utilisation d'UAV dans ce contexte est encore assez nouvelle, il existe plusieurs initiatives intéressantes dans ce domaine. Des UAS ont été utilisés pour étudier des grands mammifères au Burkina Faso (Vermeulen *et al.*, 2013). Des UAS sont aussi utilisés dans le parc national du Kruger, en Afrique du Sud, pour lutter contre le braconnage des rhinocéros (Mulero-Pázmány *et al.*, 2014). Le gouvernement namibien soutient aussi, par l'intermédiaire de ses

forces armées, des programmes qui utilisent des UAS pour lutter contre le braconnage des éléphants et des rhinocéros (Nkala, 2014). Enfin, Conservation Drone, l'un des principaux acteurs dans le domaine de l'utilisation de drones à des fins de protection de la nature, a mené une mission de conservation avec des UAV dans le parc national de Loango, au Gabon, et dans la réserve naturelle de Tchimpounga, au Congo (Sweeney, 2015).

De nombreuses régions du monde ont commencé à utiliser des UAS pour surveiller l'exploitation illégale ou non durable des ressources forestières et l'utilisation des terres en général. Les organisations non gouvernementales internationales et nationales ont adopté cette technologie avec beaucoup d'enthousiasme pour donner aux communautés marginalisées et aux populations autochtones des moyens de recueillir des preuves visuelles attestant d'activités illégales en ayant « les yeux dans le ciel » (UAV). Il n'existe pas de cas documentés concernant cette application des UAS en Afrique, mais il existe des exemples connus en Asie et en Amérique latine.

3.1.6 Livraison de frets

3.1.6.1 Livraison d'articles de santé

En 2016, le gouvernement du Rwanda a conclu un partenariat avec l'entreprise américaine de robotique Zipline pour lancer un programme destiné à réduire les délais de livraison du sang (Rwanda Biomedical Center, 2016). En 2017, les partenaires sont parvenus à atteindre l'objectif en diminuant le temps de livraison du sang de 4 heures à 15 minutes (Rosen, 2017).

3.1.6.2 Dispersion d'insectes stériles dans le cadre de la lutte biologique contre les ravageurs et les maladies

Développé conjointement par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et construit par un fabricant de drones allemand, l'UAV utilisé dans l'opération ROMEO (*Remotely Operated Mosquito Emission Operation*) a permis de transporter et de lâcher des moustiques mâles stériles dans une optique de lutte biologique contre les moustiques qui peuvent être vecteurs de maladies graves (FAO/AIEA, 2016). Une initiative similaire visant à disperser des spécimens mâles stériles de mouches tsé-tsé été appuyée par l'AIEA en Éthiopie (Atherton, 2016).

3.2 Utilisation à l'échelle régionale

L'emploi des UAV n'en est encore qu'à ses débuts en Afrique et la littérature contient peu d'exemples d'initiatives et de projets régionaux ayant recours à la technologie des drones. Cette situation est probablement liée au fait que la gouvernance des UAV est gérée au niveau national et que les règles et les réglementations relatives à l'utilisation des UAV sont édictées par les autorités nationales de l'aviation civile (ANAC) et diffèrent donc d'une région à l'autre. L'absence d'initiatives régionales en Afrique fait écho de ce qui se passe au niveau mondial, où la technologie des drones militaires fait surtout l'objet de débats concernant la paix et la sécurité. En Europe, la Commission Européenne (CE) est à la tête d'un mouvement qui cherche à harmoniser les réglementations nationales relatives aux UAV en créant un cadre pour l'ensemble de l'UE.

4

Politique publique et systèmes réglementaires

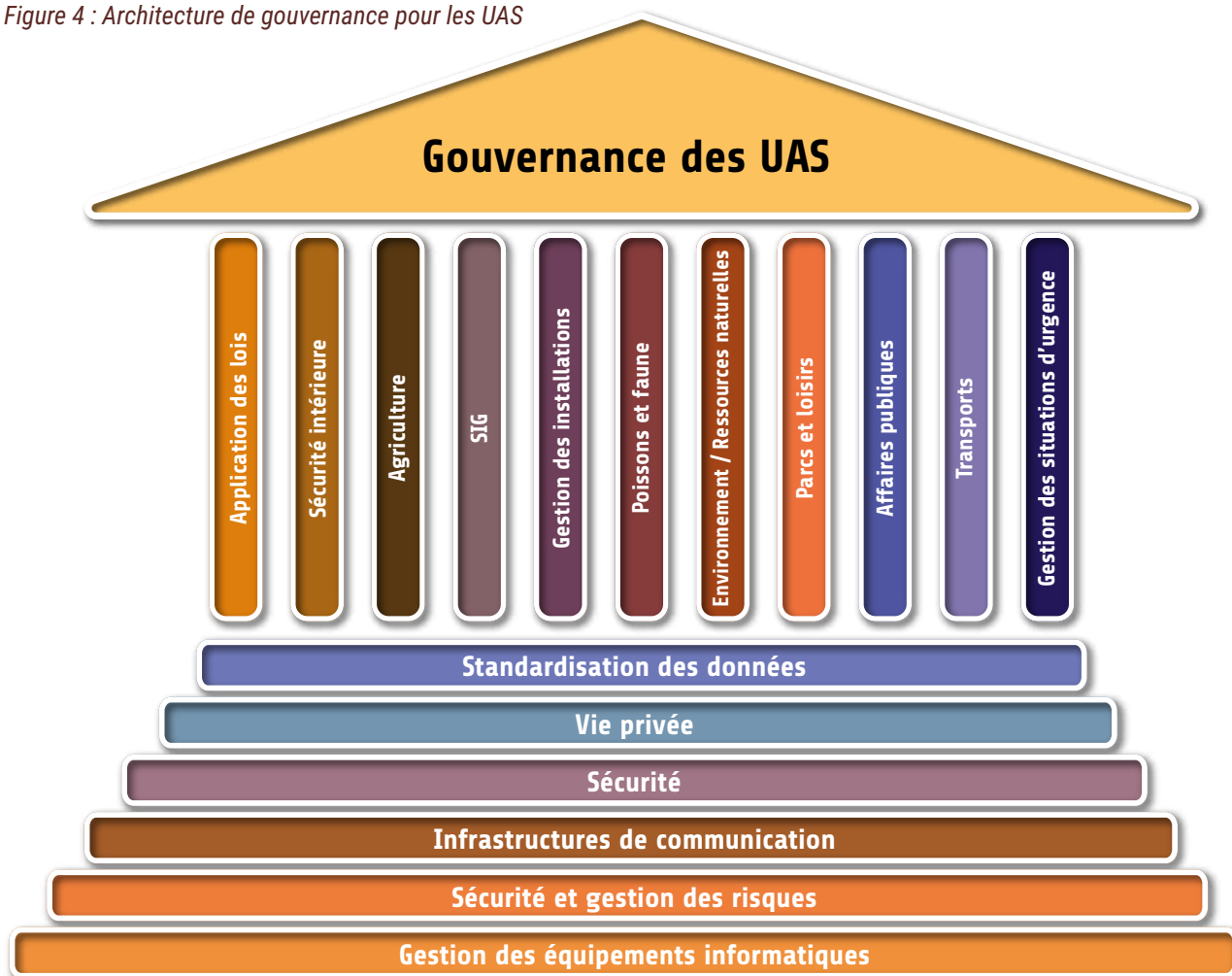
4.1 Gouvernance

En ce qui concerne les UAV, la gouvernance est une question multisectorielle, impliquant de nombreuses parties prenantes, et qui doit associer tous les acteurs liés au processus décisionnel. Toutefois, la réglementation de l'espace aérien civil continuera à relever essentiellement de la compétence des ANAC compétentes, qui supervisent à la fois l'élaboration, l'adoption et l'application des réglementations. La figure 4 ci-dessous présente le processus et les éléments constitutifs idéaux pour élaborer une stratégie de gouvernance des UAV.

Les piliers horizontaux du diagramme indiquent comment il convient de fonder une stratégie de gouvernance des UAS sur une base solide de politiques qui tiennent compte d'aspects tels que le respect de la vie privée et la sécurité publique, veillent au respect des normes en matière d'échange de données et de communication et intègrent les méthodes convenues pour gérer et atténuer les risques. Les piliers verticaux représentent les différents secteurs ou domaines d'activité qui ont recours aux UAV.



Figure 4 : Architecture de gouvernance pour les UAS



Source : https://www.nascio.org/Portals/0/Publications/Documents/NASCIO-UAS_Governance_and_State_CIOs_OnTheRadar.pdf

4.2 Politiques et réglementations

Dans chaque pays, les ANAC sont les instances gouvernementales compétentes qui supervisent l'approbation et la réglementation de l'aviation civile. Les ANAC sont aussi le principal organisme de réglementation de l'utilisation des UAV dans l'espace aérien national. Les ANAC réglementent généralement les aspects critiques des grands aéronefs avec pilote, leur navigabilité et leur exploitation. La réglementation de l'utilisation des UAV, en particulier des drones de petite taille et de taille moyenne, qui sont récemment apparus sur le marché, constitue une responsabilité supplémentaire dans un domaine encore inexploré. Partout où des réglementations relatives aux UAV existent, les ANAC sont généralement responsables des procédures suivantes concernant l'utilisation des UAV : i) vérification des équipements embarqués et au sol qui affectent la sécurité aérienne ; ii) octroi des licences

Défis et solutions envisagées

Le déploiement des UAV comporte son lot de défis, qui peuvent être classés dans quatre grandes catégories : défis d'ordre technologique, économique, social, et juridique, comme le suggèrent Clothier *et al.* (2015). Dans certains cas, des organismes gouvernementaux et des opérateurs du secteur privé ont déjà commencé à travailler sur des solutions qui sont décrites ci-dessous.

5.1 Défis technologiques

Les solutions déjà prises en compte par l'industrie des drones concernent notamment l'autonomie, la capacité et la fiabilité. L'autonomie de la batterie est l'un des principaux problèmes pour les opérateurs de drones. Les batteries commerciales pour les petits UAV permettent, quand elles sont entièrement chargées, d'effectuer des vols de 24 à 40 minutes avant de devoir être remplacées. Les batteries des UAV à voilure fixe ont une meilleure autonomie que celles des multi-rotors. Certaines entreprises proposent des UAV alimentés à l'énergie solaire, dont elles affirment qu'ils peuvent voler pendant des heures. Comme dans le cas des voitures électriques, le développement de batteries à haute capacité et à chargement rapide pour accroître l'autonomie de vol des UAV est considéré comme une priorité absolue par les fabricants d'UAV, et le secteur investit massivement dans ce domaine pour trouver des solutions.

Les batteries au lithium, les plus couramment utilisées pour alimenter les UAV, ont leurs propres limites, car elles peuvent dégager beaucoup de chaleur en cas de court-circuit, et même prendre feu si elles sont endommagées, mal conçues ou mal assemblées. Le transport de batteries au lithium dépassant un certain niveau de watts-heures est d'ailleurs considéré comme un danger par de nombreuses compagnies aériennes et des règles strictes s'appliquent pour réduire au maximum les risques liés au transport de telles batteries dans des avions de passagers.

Le fait que les UAV dépendent des communications à partir d'un opérateur au sol pour en assurer le contrôle les rend vulnérables aux pertes de signal en cas d'interférences, de brouillage d'écran, de sortie de la portée du signal ou de piratage. Quand un UAV perd le signal qui le guide, le véhicule doit décider de la marche à suivre, bien que les UAV soient généralement programmés pour pouvoir gérer ces situations. La difficulté de manœuvrer un UAV en toute sécurité hors visibilité directe a récemment été résolue grâce au développement et à l'installation d'une technologie permettant aux UAV de « détecter et d'éviter » d'autres objets immobiles ou en mouvement. Toutefois, ce problème se pose toujours pour tous les drones actuellement sur le marché qui n'ont pas été équipés de cette technologie de détection et d'évitement.

Les UAV sont de plus en plus souvent équipés d'un logiciel de géo-repérage (*geofencing*), qui les empêche de voler dans des zones d'accès réglementé ou qui envoie un avertissement au pilote si l'UAV pénètre dans une zone d'exclusion aérienne sensible. Des mises à jour automatiques au sujet des restrictions de vol temporaires dues à des incendies, par exemple, contribuent à protéger les aéronefs de lutte contre les incendies autorisés et à permettre aux équipes de pompiers d'intervenir sans être dérangées. Un logiciel comme « Geospatial Environment Online » inclut des restrictions de vol permanentes aux abords des prisons, des centrales nucléaires et d'autres sites sensibles, ainsi que des restrictions temporaires en cas de grand rassemblement dans un stade ou de

menaces pour la sécurité nationale. Ce type de logiciel offre aussi une certaine flexibilité aux pilotes des drones en leur permettant de déverrouiller certaines zones d'accès limité quand ils ont l'autorisation d'y voler (DJI, 2016).

Si ce type de logiciel de géo-repérage est d'ores et déjà disponible, le principal défi en Afrique est de faire en sorte que les ANAC communiquent régulièrement des données pertinentes (notamment sur les zones d'exclusion aérienne) aux fabricants de drones ou aux fournisseurs de services de ce type, qui pourront ensuite les transmettre aux opérateurs via des mises à jour du logiciel.

5.2 Défis économiques

Alors que la demande et l'offre de services d'UAS augmentent de façon exponentielle en Australie, aux États-Unis et dans certains pays européens, où l'agriculture prend la forme de monocultures sur des vastes exploitations, l'adoption de la technologie des UAV dans le cadre des systèmes agricoles multi-cultures à petite échelle dans les pays africains demeure difficile. Si le rapport coûts-avantages de la technologie des UAV et la disposition des agriculteurs africains à payer ce type de services doivent encore être évalués, les grandes entreprises agricoles ont déjà adopté cette technologie dans des pays tels que l'Île Maurice, le Maroc, l'Afrique du Sud et le Soudan, entre autres. Dans le contexte des petites exploitations, les services d'UAS seront probablement abordables pour les agriculteurs membres de grandes coopératives qui produisent la même culture sur des parcelles contiguës. Ce concept a été mis en pratique avec succès pour la mécanisation agricole au Rwanda dans le cadre du Programme national d'intensification des cultures (PIC), où les agriculteurs synchronisent leurs cultures sur des parcelles regroupées, qui sont réorganisées pour former des exploitations plus grandes et plus rationnelles (Kathiresan, 2011).



S'il existe des preuves scientifiques attestant que les mesures localisées prises sur la base de données produites par des UAS permettent d'améliorer la productivité agricole ou de réaliser des économies sur les intrants agricoles, le manque d'opérations d'UAS à grande échelle en Afrique ne permet pas de fournir des éléments scientifiques suffisants pour démontrer comment les avantages pour les agriculteurs dépasseraient les coûts liés aux UAS. Afin de remédier à cette lacune, des recherches sur le terrain ont été lancées et sont prévues prochainement dans plusieurs pays africains.

Le secteur des services d'UAS est encore jeune en Afrique, ce qui signifie qu'il n'y a pas beaucoup d'opérateurs autorisés disponibles pour offrir leurs services dans le secteur de l'agriculture. L'Afrique du Sud est le pays qui compte le plus de fournisseurs de services d'UAS commerciaux agréés. Pourtant leur nombre absolu (14) (Wijnberg, 2017) reste faible comparé au Royaume-Uni, où, le 31 juillet 2017, on dénombrait au total 3026 opérateurs de petits UAV autorisés actifs, travaillant avec des drones de moins de 7 kg et/ou de 7 à 20 kg (Civil Aviation Authority (UK), 2017). Par conséquent, la difficulté de trouver des fournisseurs de services d'UAS peut se transformer en opportunité pour les jeunes qui ont fait des études et qui souhaitent créer une entreprise de drones.

Un UAV équipé d'un capteur est une composante de l'équation selon laquelle les opérations d'UAS produisent une énorme quantité de données et qu'il est nécessaire de disposer d'assez d'espace pour stocker celles-ci et d'une puissance de calcul suffisante pour les traiter. Voilà pourquoi des investissements complémentaires sont réalisés dans le développement de grandes et solides installations de stockage de données, de logiciels d'analyse de données et de puissance de calcul élevée pour les utiliser, ainsi que dans des connexions Internet rapides – si l'analyse des données est réalisée dans le cloud – et des systèmes d'alimentation électrique accessibles. Plus important encore, le secteur des UAV a besoin d'une main-d'œuvre qualifiée, capable de planifier des itinéraires de vol, de piloter des UAV, d'utiliser des logiciels de SIG et d'analyse de données, d'interpréter les données et de formuler des conseils en matière d'agronomie ou d'aménagement du territoire.

5.3 Défis juridiques

Les petits UAV se distinguent indéniablement des aéronefs traditionnels à de nombreux égards, mais ils sont pourtant considérés comme des aéronefs à part entière dans la plupart des pays, ce qui est peut-être le principal obstacle lié à leur gouvernance. Rares sont ceux qui avaient prédit comment l'industrie des drones arriverait à se réinventer complètement et à prendre une telle envergure dans toutes ses entreprises et ses domaines d'activité (Rambaldi & Guerin, 2017). Aujourd'hui, plusieurs millions d'UAS volent en Australie, dans l'UE et aux États-Unis, et des études récentes indiquent que leur nombre devrait augmenter de manière exponentielle partout dans le monde.

Selon PricewaterhouseCoopers (PwC), les UAS transformeront l'agriculture en une industrie de haute technologie, où les décisions seront prises sur la base de données collectées et traitées en temps réel, ce qui permettra d'améliorer la productivité et les rendements (Drone Powered Solutions, 2016). En tant que nouvelle technologie, les UAS évoluent plus vite que les réglementations censées régir leur utilisation. L'élaboration et la mise à jour systématique d'un cadre réglementaire adapté à tous constituent donc un défi de taille pour toutes les autorités responsables.

En Afrique, comme le montre la section 4.2, les réglementations des UAV sont encore en cours d'élaboration et la présence de réglementations trop contraignantes, voire handicapantes, régissant l'importation et l'utilisation des UAV compromet le développement d'une industrie très prometteuse, susceptible d'attirer et d'engager les jeunes ruraux qui ont fait des études. Certains pays ont eu recours à des interdictions temporaires de l'importation et de l'utilisation des UAS en attendant l'instauration de réglementations dans ce domaine, de sorte que les voyageurs se voient confisquer leurs UAV aux points d'entrée dans ces pays (Rambaldi & Guerin, 2017). Ceux qui tentent d'obtenir un permis d'importation pour exercer des activités d'UAS doivent traiter

avec une série d'organismes gouvernementaux, comme le ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, le ministère des Affaires intérieures, le ministère de la Défense et l'autorité de l'aviation civile, entre autres, sans aucune certitude d'obtention du permis requis.

L'Afrique du Sud a mis en place des réglementations, mais il semble que celles-ci entravent considérablement le développement d'un secteur des services d'UAS prospère. Selon un opérateur d'UAS autorisé (Wijnberg L. , 2017), l'approche rigoureuse adoptée par ce pays a obligé certaines entreprises d'UAS à agir en dehors du cadre de la loi ou à déplacer leurs activités dans des pays voisins pour rester en activité. En Afrique du Sud, la réglementation considère que l'utilisation d'un UAS pour produire des données agricoles implique que cet UAS soit employé à des fins commerciales et devrait donc être régi de la même manière qu'un aéronef commercial avec pilote. L'opérateur doit donc se conformer à différentes exigences majeures dont : i) obtenir une licence de pilote à distance ; ii) enregistrer l'aéronef ; et iii) obtenir une licence de services aériens auprès du ministère des Transports et un certificat d'opérateur à distance auprès de l'autorité sud-africaine de l'aviation civile. Une personne seule n'est pas en mesure de répondre à toutes ces exigences, qui nécessitent d'assumer plusieurs fonctions, comme responsable de l'assurance de la qualité, gestionnaire des opérations de vol, agent de sécurité et agent de sûreté, entre autres. Le coût total des mesures nécessaires pour se conformer aux réglementations dépasse 500 000 ZAR (soit 38 700 USD) et ce processus dure plus de deux ans. Bien souvent, certaines autorisations (comme la licence de services aériens) expirent et doivent être renouvelées avant que le certificat d'opérateur à distance ne soit délivré. Depuis la publication de ces réglementations, en 2015, seulement 14 entreprises ont obtenu l'autorisation de mener des activités, et plus de 400 demandes sont encore en cours de traitement (Wijnberg L. , 2017).

Au **Kenya**, l'autorité nationale de l'aviation civile a annoncé le développement de ses réglementations nationales régissant l'utilisation des aéronefs téléguidés en février 2017. Au moment de la rédaction du présent rapport, ces réglementations n'avaient pas encore été édictées et l'importation et l'utilisation d'UAV étaient interdites. Plusieurs agences de développement et instituts de recherche internationaux souhaitant soutenir l'introduction et l'utilisation d'UAS dans le secteur agricole sont confrontés à un vide juridique et ont dû suspendre des projets ou annuler des fonds alloués.

Au **Rwanda**, l'autorité nationale de l'aviation civile a adopté ses réglementations relatives aux UAS en juin 2016, mais n'a jusqu'à présent encore délivré qu'un seul permis à une entreprise locale.

Au **Ghana**, l'autorité nationale de l'aviation civile a adopté ses réglementations en juin 2016. En décembre 2016, elle a publié une directive supplémentaire invitant tous les opérateurs ou utilisateurs d'UAV à solliciter une autorisation écrite auprès de commissariats de police locaux ou régionaux avant d'utiliser leurs UAV. Cet environnement favorable a profité au secteur et plusieurs opérateurs d'UAS fournissent déjà leurs services au secteur de l'agriculture.

Au **Nigeria**, en mai 2016, le gouvernement a interdit l'utilisation d'UAV sans licence et énoncé des lignes directrices pour les opérateurs de drones au Nigeria. Ces lignes directrices imposent aux opérateurs d'UAV de : i) payer une caution initiale non remboursable de 500 000 NGN (1390 USD) et une taxe de renouvellement annuelle supplémentaire de 100 000 NGN (278 USD) ; ii) détenir un capital social minimum de 20 millions de NGN (55 600 USD) ; iii) obtenir une approbation de sécurité auprès de l'Agence de sécurité nationale ; et iv) introduire une demande d'autorisation de vol au moins 6 mois avant l'utilisation prévue de l'UAV (Adewopo, 2017). Bien que ces exigences soient strictes et sélectives, un certain nombre d'entreprises y ont répondu. L'autorité nigériane de l'aviation civile a délivré son premier certificat d'opérateur d'UAV en juin 2017 (NCAA, 2017) et prévoit de mettre en place un portail en ligne afin de permettre à tous les utilisateurs d'UAV du pays de s'enregistrer.

Les situations nationales présentées ci-dessus révèlent le manque d'harmonisation des réglementations relatives aux UAV entre les différents pays africains. Pour remédier à ce problème, l'OACI organise, par l'intermédiaire de ses bureaux régionaux d'Afrique

orientale et australe et d'Afrique occidentale et centrale, des groupes de travail et des événements pour assurer le partage de connaissances et d'expériences en vue de permettre la comparaison et l'harmonisation des exigences réglementaires, des procédures et des documents d'orientation sous l'égide de quelques États choisis qui ont accompli des progrès notables dans ces domaines.

5.4 Défis sociaux

Les défis sociaux recourent les défis technologiques et économiques et concernent à la fois les fabricants et les opérateurs d'UAV. Ces défis comprennent toute une série de problèmes concernant la sécurité, le respect de la vie privée, la collecte, le stockage et la gestion des données, les nuisances ou les dommages occasionnés aux personnes et aux animaux, les dommages matériels, l'emploi, etc.

Les UAV doivent par exemple être construits et utilisés de façon à être les plus discrets possible, conçus pour réduire au maximum les émissions, intégrer éventuellement une technologie de détection et d'évitement et être réceptifs aux instructions de géo-repérage. Les opérateurs devraient avoir conscience des écosystèmes qui les entourent et des réglementations en vigueur pour les protéger. Les animaux sauvages et domestiques réagissent quand des UAV volent à proximité et peuvent être effrayés et stressés. L'usage récréatif d'UAV dans les parcs nationaux est d'ailleurs de plus en plus souvent interdit.

Avec leur capacité à enregistrer des images et vidéos en haute résolution, les drones posent de nouveaux problèmes en matière de respect de la vie privée et de protection des données. Peu de pays africains se sont dotés d'une législation nationale complète relative au respect de la vie privée, à la protection des données et au stockage des informations (Look, 2013). Les drones soulèvent aussi des questions pertinentes concernant la vie privée des individus : les gens peuvent être filmés ou photographiés en train de se rendre à des endroits ou de faire des choses qu'ils veulent garder privés ; leurs activités ou les structures illégales peuvent devenir visibles ; ou les gens peuvent simplement être mal à l'aise à l'idée d'être photographiés ou localisés (Gilman, 2015).

Pour ce qui est de l'emploi, on pourrait avancer que les UAV risquent d'affecter les emplois des personnes chargées de surveiller les ressources naturelles, les cultures et les biens. En réalité, de moins en moins de gens sont disposés à accomplir des tâches pénibles nécessitant de patrouiller, d'examiner et d'inspecter des biens dans des endroits reculés et mal desservis. D'un autre côté, de nombreux jeunes diplômés passionnés de technologies innovantes seraient disposés à se lancer dans des activités en lien avec des UAV. Quand il s'agit de déployer des UAS au service d'une agriculture de précision, le lien avec les zones rurales saute aux yeux ; l'adoption généralisée de cette technologie pourrait contribuer à retenir les jeunes dans les zones rurales pour y travailler comme pilotes d'UAV, analystes de données ou conseillers en agronomie. L'adoption des UAS peut être une source d'emplois pour les jeunes qui ont fait des études et créer un environnement high-tech attrayant pour les entrepreneurs agricoles, ce qui encouragerait les jeunes à s'engager dans l'agriculture.

Les collisions potentielles entre des aéronefs, et les dommages corporels et matériels sont les principaux problèmes de sécurité qui préoccupent les instances dirigeantes publiques, nationales et internationales. D'importantes recherches sont en cours pour modéliser et évaluer ces risques et, sur la base des résultats de ces recherches, contribuer à l'élaboration des réglementations afin de faire en sorte que ces risques soient dûment pris en considération. Orienter le développement des réglementations relatives à la sécurité des UAV constitue un objectif de sécurité de haut niveau. Le Groupe de pilotage européen chargé des questions relatives aux systèmes d'aéronefs télé-pilotés (RPAS) et le Comité consultatif sur les drones (*Drone Advisory Committee*) des États-Unis sont des groupes de pilotage puissants, qui ont favorisé l'acceptation d'une approche fondée sur les risques en matière d'intégration des UAV dans le système d'espace aérien. Les risques augmentent progressivement en fonction du poids et de la taille des UAV, de

la complexité des opérations (de nuit, par exemple) et de la zone d'intervention (site isolé, environnement urbain, espace aérien à haute capacité), et doivent être compensés par une série de mesures d'atténuation définies au cas par cas. L'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA) utilise une classification à trois niveaux de risque. Les opérations à faible risque se classent dans la catégorie « ouverte », qui est limitée aux vols à faible altitude, en visibilité directe, loin des foules et des infrastructures et avec des engins de moins de 25 kg – ce qui englobe la plupart des UAV employés dans le cadre de l'agriculture de précision. À mesure que le risque augmente, une évaluation des risques opérationnels de chaque opération doit être réalisée et évaluée par l'ANAC ou une entité qualifiée pour être approuvée dans la catégorie « spécifique ». La qualification la plus largement acceptée de l'objectif de sécurité le plus élevé correspond aux performances de sécurité des aéronefs à pilotage conventionnel (CPA). Concrètement, les drones doivent offrir un niveau de sécurité au moins équivalent à celui des opérations de CPA. Les travaux visant à quantifier l'objectif de sécurité sont largement basés sur des données historiques relatives aux accidents de CPA.

Parallèlement à l'élaboration et à l'adoption de réglementations relatives aux UAV, les ANAC sont également en train de définir et d'indiquer des zones d'exclusion aérienne pour les UAV. Les réglementations nationales en vigueur obligent aussi les opérateurs commerciaux à assurer leurs UAV contre les dommages corporels et matériels. En outre, les fabricants d'UAV équipent de plus en plus souvent leurs aéronefs de technologies permettant d'éviter les collisions et de systèmes de géo-repérage (périmètre virtuel). Dans les pays où des réglementations relatives aux UAV ont été mises en place, les opérateurs d'UAV commerciaux sont tenus de souscrire une assurance responsabilité civile couvrant les dommages susceptibles d'être causés par l'équipement embarqué.

Il y a quelques années, étant donné qu'il n'y avait pas de marché pour ce genre de produit, la plupart des courtiers en assurances n'étaient pas en mesure de proposer ce type de couverture, et ceux qui le faisaient exigeaient des primes exorbitantes. Aujourd'hui, plusieurs compagnies d'assurances africaines proposent une assurance responsabilité civile pour les UAV, sous la forme d'un produit indépendant ou dans le cadre d'autres offres. Ce problème subsiste toutefois dans les pays qui ne se sont pas encore dotés de réglementations ou dans lesquels les utilisateurs de drones à des fins récréatives n'assument pas leurs responsabilités et font voler leurs drones sans être couverts par une assurance adéquate. Une fois que l'utilisation d'UAV est légalisée dans un pays, les gouvernements doivent sensibiliser les populations au fait que les UAV pesant plus de 250 g, par exemple, peuvent occasionner des dommages comme d'autres véhicules et que les propriétaires doivent prendre les précautions qui s'imposent.

Une étude récemment menée en Tanzanie par l'organisme à but non lucratif FHI360 (Eichleay et al. (2016)) a établi que les drones étaient perçus par le grand public, dans l'ensemble, plutôt positivement. FHI360 a mené des entretiens avec des citoyens ordinaires ainsi que plusieurs haut-fonctionnaires gouvernementaux, parmi lesquels certains avaient observé des opérations de drones et d'autres non. L'étude a abouti aux conclusions suivantes : « La majorité (78 %) des personnes interrogées n'avaient aucune inquiétude concernant l'utilisation de drones dans leur communauté. Les personnes qui ont exprimé des inquiétudes ont évoqué les accidents (22 %), la sécurité – y compris l'utilisation de drones dans le cadre de bombardements ou d'activités criminelles (20 %) – et les problèmes liés à la protection de la vie privée. Un quart des personnes interrogées ont exprimé des inquiétudes non spécifiques. » Tous les haut fonctionnaires ont manifesté un certain degré d'inquiétude. Les préoccupations les plus fréquemment mentionnées concernaient les coûts et les réglementations. Tous les haut-fonctionnaires ont reconnu la nécessité de réglementer et de contrôler les drones si ceux-ci venaient à être utilisés en Tanzanie. Comme l'a déclaré l'un des haut-fonctionnaires : « Pour moi, tant que la raison du vol est connue, ça ne me pose aucun problème » (Eichleay et al., 2016).

Début 2016, la Fondation suisse de déminage (FSD) a mené une enquête pour mesurer la perception de l'utilisation des UAV dans le cadre d'actions humanitaires. Cette enquête a été transmise en anglais, en français et en espagnol à des professionnels de l'humanitaire intervenant dans 61 pays. Sur les 194 réponses reçues, la majorité provenait d'ONG humanitaires (52 %), suivies par la catégorie des donateurs (19 %) et les agences des Nations Unies (10 %). D'après ces résultats, la perception générale était

globalement favorable ou très favorable (61 %). Les professionnels de l'aide humanitaire se sont dits confiants dans le potentiel des UAV pour appuyer le travail humanitaire et dans leur capacité à améliorer sensiblement la vitesse et la qualité des évaluations des besoins locaux. Cependant, une minorité non négligeable (22 %) n'était pas favorable à l'utilisation de drones dans le cadre d'actions humanitaires. Il importe de signaler que seulement un participant à l'enquête sur dix avait une expérience concrète de l'utilisation de drones dans un contexte humanitaire. Les raisons évoquées pour expliquer les perceptions négatives peuvent être classées dans trois catégories générales : crainte que cette technologie crée une distance entre les bénéficiaires de l'aide et les travailleurs humanitaires ; association potentielle avec des applications militaires ; absence de valeur ajoutée de l'utilisation de drones (Soesilo & Bergtora Sandvik, 2016).

L'évaluation des risques est l'un des nombreux facteurs qui influencent l'acceptation d'une technologie par le grand public. Dans le cas des UAV, les questions plus larges de vie privée, de sécurité, de responsabilité et d'éthique associées à leur utilisation influenceront très probablement l'acceptation généralisée de cette technologie. Dans une société de plus en plus sensibilisée aux risques, il est nécessaire de mieux comprendre la perception et les inquiétudes du grand public envers les nouvelles technologies avant que l'usage de celles-ci ne se généralise. Il convient donc de prendre les mesures suivantes : a) mener des enquêtes de perception supplémentaires ; b) solliciter l'aide des organismes de développement pour le déploiement de la technologie ; et c) associer les réseaux sociaux et collaborer étroitement avec les médias traditionnels, car ces canaux auront une influence déterminante sur la perception du public.

Il est possible de renforcer l'acceptation sociale de la technologie des UAV si les avantages découlant du déploiement de cette technologie ne profitent pas seulement à l'agriculture de précision. Un bon exemple est l'utilisation de drones cargo pour livrer du matériel médical et des échantillons de sang, comme cela se fait actuellement à Madagascar, au Rwanda et en Tanzanie. Dans ce contexte, des investisseurs prévoient, sous la houlette de la Norman Foster Foundation, de construire un port pour drones au Rwanda, qui pourrait servir de base à des lignes pour drones cargo permettant d'assurer un approvisionnement d'urgence à très grande échelle dans des zones reculées.



Possibilités de progrès rapides

6.1 Partenariats public-privé

L'utilisation des drones au service de l'agriculture de précision est un projet essentiellement porté par les fabricants de drones, comme Precision Hawk, AgEagle, Sentera, Agribotix, senseFly, DJI et Parrot, et les entreprises proposant des logiciels ou des plateformes pour l'analyse de données (AIRINOV, DroneDeploy, Pix4D, Agisoft, etc.), avec le concours de nombreux établissements d'enseignement supérieur et instituts de recherche agricole. Les drones sont souvent accueillis comme des technologies transformatrices, et les partenariats public-privé (PPP) pourraient représenter une piste pour relever certains des défis liés à l'introduction et à la généralisation de la technologie des UAV dans les pays africains. Le partenariat entre le gouvernement rwandais et Zipline est un bon exemple de PPP (voir la section 3.1.6.1). Les drones et d'autres technologies émergentes ne peuvent être viables que s'il existe un marché solvable. S'il n'existe aucun marché pour une technologie, les entreprises n'ont aucun intérêt à développer et à vendre cette technologie.

6.2 Recherche et développement

Les principaux domaines de recherche et développement (R&D) sur les drones sont notamment la santé des cultures et l'amélioration des rendements, l'évaluation des dommages causés aux cultures, la gestion de l'irrigation, la surveillance des troupeaux et la technologie de modulation pour l'application des intrants. Ces domaines de recherche sont étroitement liés à la satisfaction des besoins des agriculteurs dans le contexte des systèmes agricoles locaux. Cependant, en raison de certaines particularités locales des agriculteurs africains, comme la taille réduite des propriétés par habitant, la nature hétérogène des cultures et les problèmes de régime foncier, ainsi que la diversité des systèmes agricoles, il est nécessaire de mener des activités de R&D pour déterminer lesquelles permettraient à la technologie des UAV d'être rentable du point de vue d'un petit exploitant. La réticence des agriculteurs à adopter rapidement les innovations est connue et, dans une certaine mesure, justifiée.

Il faut mener des recherches approfondies pour déterminer dans quelle mesure les UAS peuvent accélérer l'adoption et la généralisation de l'agriculture de précision et de l'intensification des cultures, en particulier dans le contexte des petites exploitations agricoles. L'adoption des UAV dépend aussi du retour sur investissement pour les agriculteurs et les opérateurs de drones. Les implications microéconomiques de cette technologie par rapport à la R&D devront être parfaitement comprises et documentées. Enfin, l'intégration de la R&D dans la technologie des UAV et les structures coopératives locales devraient être envisagées comme vecteurs d'introduction et de viabilité de cette technologie.

6.3 Renforcement des capacités et émergence de nouvelles entreprises

En matière d'agriculture de précision, les agriculteurs n'ont souvent pas besoin de données brutes, mais d'informations exploitables pour appuyer leurs processus de prise de décision. Dans ce contexte, l'apparition d'intermédiaires technologiques capables de fournir des services de conseil basés sur les UAS est essentielle et permet en même temps de créer des emplois dans les zones rurales pour les jeunes qui ont fait des études. Le renforcement des capacités des pilotes d'UAV et l'intégration de spécialistes en télédétection SIG et d'agronomes permettront de constituer des équipes idéales pour offrir des services d'UAV de qualité.

6.4 Propriété intellectuelle

Les cadres régissant la propriété intellectuelle (PI) doivent être renforcés en Afrique, et cette situation, combinée à la mauvaise connaissance des questions de PI, rend les innovations africaines vulnérables face aux tentatives de vol de la part d'acteurs mondiaux. Si aucun cas spécifique lié à la PI n'a encore été documenté dans le domaine de la technologie des UAV, plusieurs cas de jeunes innovateurs escroqués et privés des bénéfices de leurs inventions/innovations ont été rapportés. La responsabilité juridique de l'utilisation des drones peut incomber à l'inventeur, au contrôleur ou au détenteur des droits de PI. Dès lors, il faut instaurer des mesures de contrôle pour déterminer qui peut créer, posséder ou utiliser un drone, puisque toute infraction commise par ce drone sera imputable à l'un de ces trois acteurs.

Les drones sont aussi victimes des « chasseurs de brevets » (*patent trolls*), qui achètent des brevets dans le but d'escroquer les entités qui ont un intérêt juridique et légitime dans la technologie concernée. Dans le cas des drones, les chasseurs de brevets peuvent détourner l'utilisation prévue par le détenteur d'un brevet et faire en sorte que la technologie visée puisse être utilisée de façon abusive ou malveillante. Avec l'émergence de cette nouvelle industrie des UAV et la probabilité de voir se développer des solutions de conseils spécifiques agricoles et susceptibles d'avoir une pertinence à l'échelle mondiale, les gouvernements devraient saisir cette occasion pour renforcer leurs cadres nationaux relatifs à la PI et leur législation en la matière.

6.5 Un intérêt croissant de la part des agences de développement

Les organismes internationaux et les agences de développement manifestent de plus en plus d'intérêt pour tester et promouvoir l'adoption de la technologie des UAV.

Comme mentionné auparavant, la CE considère que « *la technologie des drones offre une occasion unique à l'économie européenne de créer davantage de croissance et de prospérité : elle ouvre la voie vers de nouveaux marchés pour des services innovants avec un énorme potentiel* » (EC, 2016). La Banque mondiale encourage l'adoption de la technologie des drones pour contribuer à la réduction des risques de catastrophe dans certains pays, comme en Tanzanie. USAID a mené des essais pilote de l'utilisation des drones dans l'agriculture au Mozambique et au Rwanda. Au Rwanda, par exemple, USAID a noué un partenariat avec AgriLift pour piloter la technologie de surveillance des cultures basée sur les drones. Les drones prennent des photos aériennes des cultures à des intervalles précis. Ces images sont ensuite analysées à l'aide d'un modèle informatique, en libre accès, de croissance des plantes, qui a été spécifiquement conçu pour les exploitations cultivant des pommes de terre. La technologie des drones peut identifier le niveau de maturité optimal des pieds de pommes de terre pour les agriculteurs et peut aussi repérer les carences en nutriments ou les plantes malades.

Le Programme alimentaire mondial des Nations unies (PAM) et le gouvernement belge ont lancé une initiative visant à explorer les utilisations possibles des UAV dans le cadre des urgences humanitaires (PAM, 2017). Le Fonds des Nations unies pour l'enfance (UNICEF) a mené des essais pilote sur l'utilisation des drones au Malawi et indique que « *cette technologie pourrait se développer non seulement au service de la santé, mais aussi de l'agriculture et des situations d'urgence, ainsi qu'en réponse à d'autres besoins humanitaires* » (UNICEF, 2016). La Fondation Rockefeller et le Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE (CTA) soutiennent des start-ups proposant des services d'UAV dans les domaines de l'aide humanitaire et de l'agriculture.

6.6 Baisse des coûts liés à la technologie des drones

Comme pour les ordinateurs, les smartphones et d'autres appareils technologiques, le prix des UAV et des équipements auxiliaires, comme les capteurs, baisse progressivement, tandis que les performances, comme l'autonomie de vol, la maniabilité et les possibilités de programmation, s'améliorent..

6.7 Demande élevée d'informations exploitables en temps opportun

S'il est improbable que les UAV remplacent complètement les aéronefs avec pilote ou les systèmes d'observation de la Terre par satellite, ils présentent tout de même plusieurs avantages par rapport aux dispositifs de télédétection plus traditionnels. Les UAV peuvent enregistrer des images en très haute résolution (jusqu'à quelques cm² par pixel) sous les nuages, ce qui permet d'avoir beaucoup plus de précision que les images satellitaires auxquelles les utilisateurs ont généralement accès dans les pays en développement.

Les UAV sont relativement faciles à utiliser puisque la plupart des missions de cartographie et de collecte de données par UAV peuvent être programmées, ce qui signifie que l'aéronef suit un itinéraire prévu à l'avance et vole à une altitude prédéfinie. Contrairement aux satellites, qui couvrent une partie donnée de la Terre à des intervalles réguliers, les UAV peuvent être déployés à tout moment, pour autant que les conditions météorologiques le permettent (pas de pluie, ni de vent violent) et que les réglementations nationales en vigueur soient respectées. Des entreprises du secteur privé actives dans divers domaines considèrent de plus en plus les technologies et services d'UAV comme des opportunités pour anticiper et réduire les risques opérationnels, et avoir accès à des informations exploitables dans des délais très courts par rapport au temps nécessaire pour avoir accès à des ensembles de données comparables provenant de sources traditionnelles.

6.8 Accès généralisé à des images satellitaires de qualité et gratuites

Il est nécessaire d'avoir accès à des images satellitaires récentes, gratuites et en haute résolution pour garantir l'efficacité des opérations préalables aux vols d'UAV, telles que la planification du vol, la définition du rayon de vol ou le réglage de l'altitude minimale. De telles données sont disponibles dans la majeure partie du continent africain et offrent un environnement favorable au déploiement de la technologie des drones. En comparaison, en Europe de l'Est, par exemple, il est parfois difficile d'avoir accès à des données de qualité recueillies par télédétection.

6.9 Contrôle et surveillance des ressources naturelles

Face à la demande toujours plus pressante qui pèse sur les ressources naturelles africaines, la capacité à exercer une surveillance étroite et à obtenir des informations précises et récentes est cruciale. Jusqu'à présent, les techniques d'agriculture de précision n'étaient accessibles qu'aux grandes exploitations agricoles occidentales, pour qui les économies d'échelle réalisées permettaient de rentabiliser les investissements dans ce qui était, à l'époque, du matériel et/ou des services très onéreux. La baisse des coûts et la diminution de la taille et de la complexité des UAV modernes et des capteurs associés signifient que les agriculteurs africains peuvent abandonner leurs méthodes agricoles plus traditionnelles et faire un bond en avant en adoptant des techniques d'agriculture de précision ultramodernes (Mbonyinshuti, 2016).

6.10 Des solutions faciles à déployer pour atteindre les zones difficilement accessibles

Dans beaucoup de pays africains, il est difficile d'accéder aux zones rurales en raison de la mauvaise qualité, voire de l'absence d'infrastructures routières. Les régions qui ont subi – ou qui subissent encore – les effets de conflits ou de catastrophes naturelles sont encore plus difficiles d'accès. La technologie des drones offre la possibilité d'atteindre de telles zones et d'y offrir toute une gamme de services, comme la livraison de marchandises en petites quantités (matériel médical, par exemple) ou l'inspection et l'examen des infrastructures touchées par des catastrophes.

Conclusion

L'utilisation des drones au service de l'agriculture de précision peut être perçue comme une approche intensive guidée par des technologies sophistiquées. Certains aspects de l'agriculture de précision sont néanmoins déjà mis en pratique en Afrique, comme l'utilisation de cartes de fertilité des sols, basées sur la localisation et l'utilisation de technologies d'échantillonnage localisé. La technologie des UAS pourrait aider les agriculteurs à optimiser leurs ressources et fournir des données complètes, rapides et détaillées. La mise en route de l'agriculture de précision à l'aide de drones dans le contexte d'exploitations agricoles de taille moyenne à grande, ainsi que dans le cadre de coopératives, devrait permettre d'accroître la productivité agricole et de garantir un retour sur investissement pour l'agriculteur tout en améliorant la durabilité environnementale.

Dans le contexte des petites exploitations, les services d'UAS seront probablement abordables pour les agriculteurs membres de grandes coopératives qui produisent la même culture sur des parcelles contiguës. Ce concept a été mis en pratique avec succès pour la mécanisation agricole au Rwanda dans le cadre du PIC, où les agriculteurs synchronisent leurs cultures sur des parcelles qui sont regroupées et réorganisées pour former des exploitations plus grandes et plus cohérentes. Dans la logique des économies d'échelle, plus le coût des services d'UAC diminue, plus la superficie des zones visées peut être grande. Par conséquent, les producteurs les plus susceptibles d'adopter la technologie des UAS seront les grandes associations ou coopératives d'agriculteurs, les entreprises agricoles contractantes et les exploitations agricoles et agrobusiness de taille moyenne à grande.

Face à l'augmentation de la demande, la technologie des drones se développe de façon exponentielle en Occident et l'agriculture est l'un des principaux secteurs économiques dans lesquels elle est employée. L'Afrique ne devrait pas être à la traîne. Les États membres de l'UA devraient donc, via un processus consultatif, élaborer et adopter des cadres réglementaires nationaux relatifs aux UAV, qui garantissent la sécurité, encouragent l'innovation et ne freinent pas l'émergence de fournisseurs de services agricoles basés sur les UAS ni ne découragent les investissements du secteur privé dans ce domaine.

Les UAS utilisés à des fins d'arpentage (tour de plaine) peuvent contribuer à remédier aux problèmes d'administration foncière, en particulier pour les petits exploitants ruraux et les situations de régime foncier informel. Des législations foncières plus claires permettront aussi d'améliorer l'accès au crédit et la sécurité financière. Dans un contexte urbain, les drones peuvent produire des images et des cartes en haute résolution, qui aideront les urbanistes à améliorer les infrastructures et à gérer les risques de catastrophes naturelles (inondations, par exemple).

Le développement économique est un processus complexe et non linéaire. Ce processus est d'autant plus compliqué que de nombreuses innovations et avancées entraînent, en raison des améliorations de la productivité qu'elles apportent, une diminution des besoins en main-d'œuvre peu qualifiée. En Afrique, où la vaste majorité des pays affichent un taux de chômage élevé chez les jeunes et les adultes, de tels développements doivent s'accompagner d'autres actions de nature sociale, économique et éducative. L'Afrique a besoin d'une main-d'œuvre qualifiée, capable de gérer les infrastructures de données requises pour stocker, traiter et échanger les données produites. L'Afrique a besoin de pilotes d'UAV, d'analystes de données, de chercheurs, d'agronomes et d'urbanistes qui possèdent un haut niveau de compétence leur permettant d'utiliser ces données. L'Afrique a besoin d'un environnement qui encourage les investissements dans les technologies innovantes et révolutionnaires. Cet objectif ne pourra être atteint que si toutes les parties prenantes se réunissent pour mettre en place un cadre réglementaire avec des structures de gouvernance efficaces.

Recommandations

Vu le niveau actuel d'adoption de la technologie des drones et des possibilités que celle-ci offre en matière de dépistage et de surveillance des cultures, d'évaluation du volume des cultures, d'inventaire, de pulvérisation de précision et d'évaluation des dommages causés aux cultures, l'Afrique est prête à augmenter sa productivité agricole au cours de la prochaine décennie.

Les principaux domaines à envisager dans le cadre de l'expansion de cette technologie et de l'exploitation de son potentiel sont, notamment, le renforcement des capacités, les infrastructures d'appui, le renforcement de la réglementation, la recherche et le développement, ainsi que l'implication des parties prenantes. À cet égard, le panel de haut niveau africain sur les technologies émergentes émet les recommandations suivantes :

À l'échelle nationale

- Évaluer le coût des opportunités offertes par la technologie des UAV en incluant les facteurs extérieurs et le mettre en relation avec les résultats escomptés, comme la sécurité alimentaire, l'amélioration de la santé et la capacité potentielle des drones à susciter l'intérêt des jeunes pour l'agriculture.
- Veiller à ce que les parties prenantes soient associées à tous les aspects liés à l'introduction de la technologie des UAV, de façon à pouvoir comprendre et gérer systématiquement toute forme de résistance éventuelle.
- Mener des actions de sensibilisation du grand public aux UAS et à leurs applications civiles, afin d'établir une distinction claire entre les usages civils et militaires et d'améliorer ainsi l'acceptation de cette technologie par le public. Il convient d'aborder les questions relatives à la sécurité, à la sûreté et à la vie privée dans le cadre de ce processus.
- Remédier aux obstacles financiers et techniques entravant l'adoption, au moyen de subventions, de création d'entreprises de petite taille et de taille moyenne ou de coopératives agréées, et instaurer un cadre favorable pour la gestion et la réglementation des drones afin de faciliter leur adoption (avec un système de permis et d'enregistrement).
- Encourager et soutenir les partenariats public-privé pour favoriser l'adoption de la technologie des UAV.
- Veiller à ce que des réglementations nationales appropriées relatives aux UAV soient mises en place. Ces réglementations appropriées devraient trouver un compromis entre les différentes préoccupations liées à la sécurité publique, d'une part, et la nécessité d'encourager l'innovation, le développement économique et l'entrepreneuriat chez les jeunes, d'autre part. Dans ce contexte, il convient d'encourager les autorités nationales de l'aviation civile à instaurer des cadres réglementaires favorables, permettant le déploiement et la généralisation de la technologie des UAV au service de l'agriculture de précision.

- Allouer des ressources à la R&D (coûts et bénéfices) et au renforcement des capacités pour créer une masse critique pour tous les aspects de la technologie des drones – pilotes brevetés, scientifiques, régulateurs, etc.
- Appuyer, dans le contexte des petites exploitations agricoles, l'intensification des cultures en favorisant la plantation simultanée des mêmes cultures sur des parcelles contiguës afin de former des exploitations plus larges et plus cohérentes, pouvant bénéficier des avantages offerts par la technologie des UAV pour l'agriculture de précision.

À l'échelle du continent

- Élaborer un cadre réglementaire continental pour l'utilisation des UAV en Afrique et harmoniser les politiques des différents pays et régions (communautés économiques régionales).
- Favoriser les collaborations, les partenariats, les réseaux et les échanges de connaissances Sud-Sud, triangulaires et régionaux pour faciliter la généralisation et l'utilisation de la technologie des drones.



Bibliographie

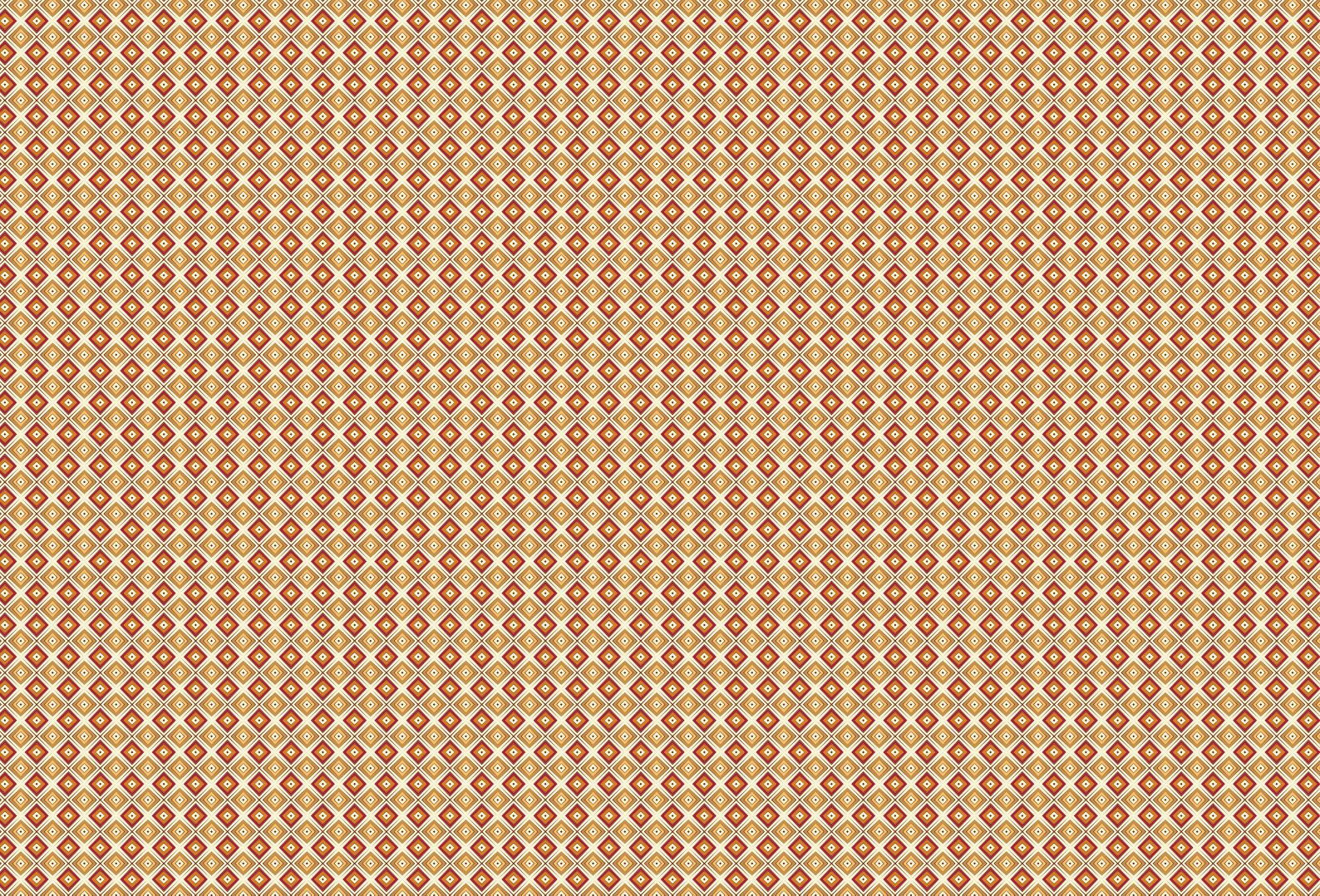
- Adewopo, J. (2017, August 31). *Regulations and realities in Nigeria's UAV airspace*. Retrieved from CTA Corporate: <https://goo.gl/onfRQB>
- Afrotech. (2016, April 12). *Redline*. Retrieved March 7, 2017, from EPFL: <https://afrotech.epfl.ch/page-115280-en.html>
- Ajewole, P., Elegbeleye, K., & Oladipo, I. (2016). *The Prospects of Precision Agriculture in Nigeria*. Department of Agricultural Engineering.
- Atherton. (2016, March). *Spanish Drone will Drop Insects over Ethiopia to Fight Disease*. Retrieved from Popular Science: <https://goo.gl/3N6UI2>
- Avila-Robinson, A., & Miyazaki, K. (2011). Conceptualization and operationalization of emerging technologies: a complementing approach. *PICMET'11, Technology Management in the Energy Smart World (PICMET)*, pp. 1-12.
- Belton, P. (2015, January 16). *Game of drones: As prices plummet drones are taking off*. Retrieved March 10, 2017, from BBC News: <http://www.bbc.com/news/business-30820399>
- Blein, R., & Bwalya, M. (2013). *Agriculture in Africa: Transformation and outlook*. New Partnership for African Development (NEPAD).
- Bramley, R. (2009). Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. *Crop and Pasture Science*, 60, 197-217.
- Civil Aviation Authority (UK). (2017, July 14). *Small Unmanned Aircraft (SUA) operators holding a valid CAA permission*. Retrieved July 30, 2017, from <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/20170714RptUAVcurrent.pdf>
- Clothier, R., Greer, D., & Greer, D. (2015). Risk, Perception and the Public Acceptance of Drones. *Risk Analysis*.
- Cozzens, S., Gatchair, J., Kang, K., King, H., Lee, G., Ordóñez, A., & Porter, A. (2010). Emerging technologies: quantitative identification and measurement. *Technol. Anal. Strateg. Manag.*, pp. 361-376.
- de Klerk, M., Droogers, P., Simons, G., & van Til, J. (2016). *Change in Water Productivity as a Result of ThirdEye Services in Mozambique. Report 157*. Wageningen: FutureWater.
- DJI. (2016). *DJI GO App Now Includes GEO Geofencing System*. Retrieved July 21, 2017, from <https://goo.gl/gDoF1x>
- Drone Powered Solutions. (2016). *Clarity from above*. PwC global report on the commercial applications of drone technology. Warsaw: PwC.
- EADM. (2017). *EAC to Hold Regional Conference on Drone Operations Regulations*. East African Diaspora Market Watch. Retrieved from <http://eadm.news/39-carousel/big/279-eac-to-hold-regional-conference-on-drone-operations-regulations>

- EASA. (2017). *Civil drones (Unmanned aircraft)*. Retrieved from European Aviation Safety Agency (EASA): <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>
- EC. (2016, November 23). *Drones: Commissioner Bulc presents plans for the creation of a European drone services market*. Retrieved from Directorate General for Mobility and Transport: <https://goo.gl/Dgd3EG>
- Efron, S. (2015). *The Use of Unmanned Aerial Systems for Agriculture in Africa: Can It Fly?* Santa Monica: RAND Corporation. Retrieved from https://www.rand.org/pubs/rgs_dissertations/RGSD359.html
- Eichleay, Mercer, Murashani, & Evens. (2016). *Using Unmanned Aerial Vehicles for Development: Perspectives from Citizens and Government Officials in Tanzania*. FHI360.
- Estes, C., Hinton, D., Robinson, D., & Lane, E. (2015). *Aerial Systems, Governance*. NASIO.
- FAO/IAEA. (2016). *Drones for Good 2016: FAO/IAEA's ROMEO system for aerial release of sterile male mosquitoes*. Retrieved from Joined FAO/IAEA Programme: <https://goo.gl/JFBASD>
- Forni, A. A., & Rob, v. (2017, 2 9). *Gartner Says Almost 3 Million Personal and Commercial Drones Will Be Shipped in 2017*. Retrieved from Gartner: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3602317>
- FSD. (2017). *Global Drone Regulations Database*. Retrieved April 8, 2017, from Drone Regulations Info: <https://www.droneregulations.info>
- FSD. (n.d.). *Global Drone Regulations Database*. Retrieved April 8, 2017, from Drone Regulations Info: <https://www.droneregulations.info>
- Garg, R. (2016, April). Insuring Indian farmers more effectively. *ICT Update*, p. 12.
- Gassner, A., & Sinclair, F. (2013). *Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection*. Routledge.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327, 828-831.
- Gilman, D. (2015). *Unmanned Aerial Vehicles in Humanitarian Response*. Policy Development and Studies Branch, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA).
- Goddard, T., Lachapelle, G., Cannon, M., Penney, D., & McKenzie, R. (1995). The potential of GPS and GIS in precision agriculture. *Proc. Geomatics V: "La Route De L'Innovation"*. Montreal, P.Q., Canada.
- Godwin, R., Wood, G., Taylor, J., Knight, S., & Welsh, J. (2003). Precision farming of cereal crops: a review of a six year experiment to develop management guidelines. *Biosystems Engineering*, 84, 375-391.
- Grand View Research. (2016). *Commercial Drone Market Analysis By Product (Fixed Wing, Rotary Blade, Nano, Hybrid), By Application (Agriculture, Energy, Government, Media & Entertainment) And Segment Forecasts To 2022*. Grand View Research.
- Greenwood, S. (2016, April). Drones on the Horizon: new frontier in agricultural innovation. *ICT Update*, pp. 2-3.
- Hardy, A., Makame, M., Cross, D., Majambere, S., & Msellem, M. (2017). Using low-cost drones to map malaria vector habitats. *Parasites & Vectors*.
- Harris, K. (2015, September 16). *Proposals for Droneport project launched to save lives and build economies*. Retrieved March 02, 2017, from Foster + Partners: <https://goo.gl/GrbmHC>

- Hendriks, J. (2011). *An analysis of precision agriculture in the South African summer grain producing areas*. North-West University, South Africa.
- Hogan, S., Kelly, M., Stark, B., & Chen, Y. (2017). Unmanned aerial systems for agriculture and natural resources. *California Agriculture*, 5-14.
- ICAO. (2017, March). *Safety*. Retrieved from ICAO: <https://goo.gl/XlhMIN>
- Jeanneret, C. (2016, April). Making sense of drone regulations. *ICT Update*, pp. 22-23.
- Jeanneret, C., & Rambaldi, G. (2016). *Drone governance: a scan of policies, laws and regulations governing the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in 79 countries*. Waheningen: CTA.
- Kathiresan, A. (2011). *Strategies for Sustainable Crop Intensification in Rwanda. Shifting focus from producing enough to producing surplus*. Kigali: MINAGRI.
- Leone, A., Wright, G., & Corves, C. (1995). The application of satellite remote sensing for soil studies in upland areas of Southern Italy. *Int. J. Remote Sensing*, 16, 1087-1105.
- Look, A. (2013, December 20). *Civilian Drones Raise Hopes, Questions in Africa*. Retrieved from VOANews: <https://goo.gl/9AaOEo>
- Makoye, K. (2016, September 8). *Tanzania turns to drones to bring peace in bitter fight for land*. Retrieved from Reuters: <https://goo.gl/E2IQMw>
- Mbonyinshuti, J. d. (2016, December 8). *Drone to monitor crops in Northern Province*. Retrieved March 25, 2017, from The New Times: <https://goo.gl/5d0fka>
- McGoogan, C. (2016, July 22). *Facebook's solar-powered internet drone takes maiden flight*. Retrieved March 11, 2017, from The Telegraph: <https://goo.gl/QV9nji>
- Mulero-Pázmány, M., Stolper, R., van Essen, L., Negro, J., & Sassen, T. (2014). *Remotely Piloted Aircraft Systems as a Rhinoceros Anti-Poaching Tool in Africa*. PLoS ONE.
- NCAA. (2017, June 22). *NCAA issues first RPAS/ Drones operator certificate to Oando*. Retrieved from Nigerian Civil Aviation Authority (NCAA): <http://www.ncaa.gov.ng/ncaa-issues-first-rpas-drones-operator-certificate-to-oando/>
- Nkala, O. (2014, September 10). *Namibia deploys UAVs for anti-poaching operations*. Retrieved from DefenseWeb: http://www.defencweb.co.za/index.php?option=com_content&view=article&id=36222:namibia-deploys-uavs-for-anti-poaching-operations&catid=35:Aerospace&Itemid=107
- NUWER, R. (2017, March 13). *High Above, Drones Keep Watchful Eyes on Wildlife in Africa*. Retrieved from The New York Times: https://www.nytimes.com/2017/03/13/science/drones-africa-poachers-wildlife.html?hp&action=click&pgtype=Homepage&clickSource=wide-thumb&module=mini-moth®ion=top-stories-below&WT.nav=top-stories-below&_r=2
- Nwili, F. (2016, 06 10). *Amid Allegations Of IP Theft By Corporations, Local Kenyan Innovators React*. Retrieved from Intellectual Property Watch: <https://www.ip-watch.org/2016/06/10/amid-allegations-of-ip-theft-by-corporations-local-kenyan-innovators-react/>
- Orellana, J., Best, S., & Claret, M. (2006). *Sistemas de Información Geográfica (SIG). AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*.

- PrecisionHawk. (2016, May 26). *Munich Re Selects PrecisionHawk to Improve Post-Catastrophe Assessment Using Drone Technology*. Retrieved from PR Newswire: <https://goo.gl/sGVsnl>
- PricewaterhouseCoopers. (2016). *Global Market for Commercial Applications of Drone Technology Valued at over \$127 bn*. Retrieved from PCW: <https://goo.gl/Gaz09L>
- Ramani Huria. (2016). *Community Mapping For Flood Resilience and Development*. Retrieved from <http://ramanihuria.org/>
- Rambaldi, G., & Guerin, D. (2017). Regulations and Good Practice in the use of UAVs. *E-Agriculture in Action*.
- Robert, P. (2002). Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, 247, pp. 143-149.
- Rosen, W. J. (2017). Zipline's Ambitious Medical Drone Delivery in Africa.
- Rwanda Biomedical Center. (2016, October 14). Retrieved from Rwanda Biomedical Centre: http://www.rbc.gov.rw/IMG/pdf/press_release_medical_drones_deliveries.pdf
- Rwanda Biomedical Center. (2016, October 14). Retrieved from Rwanda Biomedical Centre: http://www.rbc.gov.rw/IMG/pdf/press_release_medical_drones_deliveries.pdf
- Soesilo, D. (2015). *Obtaining High-Resolution Imagery to Map and Model Flood Risks in Dar es Salaam*. FSD.
- Soesilo, D., & Bergtora Sandvik, K. (2016). *Drones in Humanitarian Action – A survey on perceptions and applications*. Geneva: SFD.
- Soesilo, D., Meier, P., Lessard-Fontaine, A., Du Plessis, J., Stuhlberger, C., & Fabbroni, V. (2016). *Drones in Humanitarian Action*. Retrieved from Drones for Humanitarian and Environmental Applications: <https://goo.gl/aDt4p>
- Soesilo, Meier, Lessard-Fontaine, Plessis, D., & Stuhlberger. (2016). *Drones for Humanitarian and Environmental Applications: A guide to the use of airborne systems in humanitarian crises*. Geneva: FSD.
- Sweeney, S. (2015). *View from Above: Using Drones to Help Support Conservation in Tchimpounga*. Retrieved from Jane Goodall's Good for All News: <http://news.janegoodall.org/2015/11/16/view-from-above-using-drones-to-help-support-conservation-in-tchimpounga/>
- Talebpour, B., Türker, U., & Yegül, U. (2015). The Role of Precision Agriculture in Promotion of Food Security. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 4, 1-23.
- Thompson, W., & Robert, P. (1994). Valuation of mapping strategies for variable rate applications. *Proc. Site-Specific Management for Agricultural Systems* (pp. 303-323). Minneapolis: ASA-CSSA-SSSA.
- UAV Insider. (2013, August 15). Retrieved March 20, 2017, from UAV Insider | Unmanned Aerial Vehicle Drone News for Civil Industry: <https://goo.gl/8VoVqS>
- UAViators. (2017, March). *Humanitarian UAV Code of Conduct & Guidelines*. Retrieved from <https://goo.gl/ubekSR>
- UNDP Equator Initiative. (2015). *South Central People's Development Association, 2015 Winner of the Equator Prize*. Retrieved from <https://goo.gl/TyYvXy>
- UNICEF. (2016, July 27). *From killing machines to agents of hope: the future of drones in Africa*. Retrieved from UNICEF stories: <https://goo.gl/r90yMR>

- UNICEF. (2016, December 15). *The Government of Malawi and UNICEF announce first humanitarian drone testing corridor in Africa*. Retrieved March 09, 2017, from UNICEF Press Centre: https://www.unicef.org/media/media_94184.html
- Vermeulen, C., Lejeune, P., Lisein, J., Sawadogo, P., & Bouché, P. (2013). *Unmanned Aerial Survey of Elephants*.
- Volkman, W. (2017). *Small Unmanned Aerial System mapping versus Conventional methods: Case studies on farmland surveying*. Wageningen: CTA.
- Warner, B. (2013, march 6). *What Africa Can Teach Us About the Future of Banking*. Retrieved March 3, 2017, from Bloomberg: [chttps://goo.gl/OiU1TP](https://goo.gl/OiU1TP)
- Wijnberg. (2017, September 7). *Are South African regulations stifling the drone-based agri-service industry, a potential game-changer for agriculture?* Retrieved from CTA Corporate: <https://goo.gl/iaYp3>
- Wijnberg, L. (2017, July 22). CEO, 3DroneMapping.
- World Food Programme. (2017, February 3). *WFP And Belgium Start Efforts To Deploy Drones In Humanitarian Emergencies*. Retrieved from World Food Programme, News: <https://goo.gl/9bTmJj>
- Yao, H., & Wu, Y. (2011). *A Research about the Application of Information Technology in the Precision Agriculture: Taking the Operating System of Shanghai Agriculture Economy as an Example*. Springer.
- Yingqun, A. W. (2016, 11 18). *Drones Take Off*. Retrieved from China Daily Africa: http://africa.chinadaily.com.cn/weekly/2016-11/18/content_27415901.htm
- Zanzibar Commission for Lands. (2017). Retrieved March 25, 2017, from Zanzibar Mapping Initiative: <http://www.zanzibarmapping.com/>
- Zarco-Tejada. (2014). *Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers-Potential Support with the CAP 2014-2020*. Joint Research Centre (JRC) of the European Commission.



NEPAD

230, 15th Road, Randjespark

Midrand, Gauteng

South Africa

Telephone +27 (0) 11 256 3600

www.nepad.org

**Union
Africaine**

