



# Drones ten dienste van de bouwsector

*Technologieën, uitdagingen en vooruitzichten*

Augustus 2019





# Drones ten dienste van de bouwsector

## Technologieën, uitdagingen en vooruitzichten

### Auteurs

---

Samuel Dubois, Yves Vanhellemont, Michael de Bouw (WTCB)

Augustus 2019

#### **WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF**

WTCB, inrichting erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947  
Maatschappelijke zetel: Lombardstraat 42 te 1000 Brussel

Dit is een publicatie van wetenschappelijke aard. De bedoeling ervan is de resultaten van het bouwonderzoek uit binnen- en buitenland te helpen verspreiden.

Het, zelfs gedeeltelijk, overnemen of vertalen van de tekst van deze publicatie is slechts toegestaan na schriftelijk akkoord van de verantwoordelijke uitgever.



Document opgesteld in het kader van C-Tech, de Technologische Dienstverlening in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, een partnerschap van het WTCB in samenwerking met de CBB-H en met de steun van Innoviris.



# Inhoud

VOORWOORD.....	5
AFKORTINGEN EN WOORDENSCHAT .....	7
1. CONTEXT.....	9
1.1 Van de eerste stappen naar de enorme marktgroei.....	9
1.2 Geen gadget of verre toekomst .....	10
2. OVERZICHT VAN DE TECHNOLOGIE .....	11
2.1 Terminologie .....	11
2.2 Soorten drones .....	12
2.2.1 Drones met vaste vleugels .....	12
2.2.2 Drones met roterende vleugels.....	12
2.2.3 Andere systemen.....	14
2.3 Een drone kiezen .....	15
3. ANATOMIE VAN EEN ELEKTRISCHE MULTICOPTER EN DE BIJHORENDE UITRUSTING.....	17
3.1 Standaardcomponenten.....	17
3.1.1 Aandrijvingssysteem.....	17
3.1.2 Het frame .....	18
3.1.3 Communicatiesysteem.....	18
3.1.4 Energiebron en energiebeheer .....	18
3.1.5 Centraal ‘zenuwstelsel’ .....	19
3.2 Nuttige lading en aangebrachte tools .....	19
3.2.1 Foto- en videografie met een drone .....	19
3.2.2 Geavanceerd beeldvormingsmateriaal.....	24
3.2.3 Bewerking van de vastgelegde beelden .....	26
3.2.4 Andere accessoires en specifieke sensoren .....	27
3.3 Uitrustingen op de grond.....	28
3.3.1 Afstandsbediening (of zender) .....	28
3.3.2 Videofeedback .....	29
3.4 Besturing vanop afstand en automatische vlucht .....	30

4. DOOR DRONES GECREËERDE 3D-MODELLEN .....	33
4.1 Inleiding .....	33
4.2 Technologieën voor 3D-digitalisering waarvoor een drone gebruikt kan worden .....	34
4.2.1 3D-reconstructie door middel van beeldcorrelatie.....	34
4.2.2 Laserscanning vanuit de lucht.....	38
4.2.3 Simultane lokalisatie en cartografie zonder gps.....	38
4.3 Schaal van de bestudeerde voorwerpen en de toepassingen van 3D-modellen.....	39
5. ANALYSE VAN DE MOGELIJKHEDEN VOOR DE BOUWSECTOR.....	43
5.1 Inleiding.....	43
5.2 Bewezen toepassingen van drones .....	44
5.2.1 Documentatie en communicatie .....	44
5.2.2 Inspectie .....	45
5.2.3 Precisiemetingen: ontwerp, uitvoering en controle.....	47
5.2.4 Toezicht en monitoring.....	50
5.3 Geavanceerde toepassingen.....	50
5.3.1 Logistiek op de werf.....	50
5.3.2 Transport van objecten en materialen.....	51
5.3.3 Interventies op gebouwen.....	52
5.3.4 Indoor mapping.....	52
6. SITUATIE IN BELGIË.....	53
6.1 Voornaamste instellingen met betrekking tot drones in België.....	53
6.2 Reglementaire omkadering.....	53
6.2.1 Waarom het dronegebruik reglementeren? .....	53
6.2.2 Het koninklijk besluit in België .....	54
7. ANALYSE VAN OBSTAKELS .....	57
7.1 Algemene belemmeringen bij het gebruik van drones.....	57
7.2 Specifieke obstakels tijdens de uitvoering van een opdracht .....	57
8. TOEKOMSTPERSPECTIEVEN .....	61
NUTTIGE LINKS.....	62
LITERATUURLIJST.....	63



# VOORWOORD

Deze publicatie wil iedereen de kans te geven om een goed inzicht te krijgen in de mogelijkheden, maar ook in de beperkingen die inherent zijn aan het gebruik van drones in de bouwsector. Ze wil een overzicht geven van de mogelijke ontwikkelingen die men van deze technologieën kan verwachten en hoe deze geïntegreerd zullen worden in de werkmethoden van bouwprofessionals.

De laatste jaren zijn performante en betaalbare drones (luchtvaartuigen zonder piloot noch passagier aan boord) op de markt gekomen. Ze zijn uitgerust met allerlei voorzieningen (fototoestellen, thermische camera's, gps ...), waardoor ze reeds heel wat taken op de werf kunnen vervullen en ze het werk van de bouwprofessional kunnen vergemakkelijken (bv. de inspectie van moeilijk bereikbare zones en de uitwerking van 3D-modellen van het terrein). De technologie is in volle expansie en biedt een waaier aan mogelijkheden. Dit document wil een inkijk geven in de technologieën die momenteel beschikbaar zijn, maar wil ook een idee geven van de mogelijkheden die eruit voortvloeien voor de bouwprofessionals. Er zal eveneens een analyse gemaakt worden van de belemmeringen voor de inzet en het gebruik van drones in de bouwsector en er zullen mogelijke oplossingen voorgesteld worden.





# AFKORTINGEN EN WOORDENSCHAT

- 2D** Tweedimensionaal
- 3D** Driedimensionaal
- ATM** *Air Traffic Management* (luchtverkeersbeheer)  
Systemen die de luchtvaartuigen helpen bij het opstijgen vanuit een luchthaven of een transitluchtruim en het landen op de aankomstluchthaven.
- BES** *Building Energy Simulation* (energiesimulatie van gebouwen)
- BVLOS** *Beyond (Visual) Line of Sight* (buiten het zichtbereik)  
of **BLOS** Besturingsmodus waarbij de drone zich buiten het gezichtsveld van de afstandspiloot bevindt.
- CAD** *Computer-Aided Design* (computerondersteund ontwerp — CO)
- CAM** *Computer-Aided Manufacturing* (computerondersteunde productie — CP)
- CCD** *Charge-Coupled Device* (ladingsgekoppelde component)  
Technologie die gebruikt wordt om beeldsensoren te maken.
- CMOS** *Complementary Metal-Oxide Semiconductor* (complementaire metaaloxide halfgeleider)  
Technologie die gebruikt wordt om beeldsensoren te maken.
- DGLV** Directoraat-generaal Luchtvaart
- DOF** *Depth of Field* (scherptediepte)  
Zone waarbinnen een object zich dient te bevinden opdat het als scherp wordt ervaren op het uiteindelijke beeld.
- DSM** *Digital Surface Model* (digitaal oppervlaktemodel)  
Eindresultaat op basis van een 3D-model dat de hoogte weergeeft van een terrein en van alle natuurlijke en aangebouwde elementen die zich op de oppervlakte van het terrein bevinden.
- ESC** *Electronic Speed Controller* (elektronische snelheidsregelaar)  
Elektronische component die de rotatiesnelheid regelt van een borstelloze (*brushless*) motor.
- FC** *Flight controller* (vluchtbesturingscomputer)
- FPS** *Frames per Second* (beelden per seconde)
- FPV** *First Person View* (eerste-persoonsperspectief)  
Besturingsmodus met zicht vanuit de cockpit.
- GCP** *Ground Control Point* (controlepunt op de grond)
- GCU** *Gimbal Control Unit* (controlesysteem voor het aansturen van de *gimbal*)  
Elektronisch onderdeel dat de bewegingen van de *gimbal* controleert (de *gimbal* is de ophanging voor een camera die aan een drone bevestigd is).
- GIS** Geografisch informatiesysteem
- GNSS** *Global Navigation Satellite System* (mondiaal satellietnavigatiesysteem)  
Geheel van componenten waarmee men de exacte geografische positie kan bepalen van een object via een ontvanger die in contact staat met een netwerk van satellieten.
- GPS** *Global Positioning System* (mondiaal plaatsbepalingssysteem)

<b>HVAC</b>	<i>Heating, Ventilation and Air-Conditioning</i> (verwarming, ventilatie en airconditioning)
<b>IMU</b>	<i>Inertial Measurement Unit</i> (traagheidsnavigatie-eenheid en barometrische hoogtemeter) Navigatie-instrument dat de bewegingen van de drone kan meten.
<b>LIDAR</b>	<i>Light Detection and Ranging</i> (detectie en inschatting van de afstand aan de hand van het licht) Technologie voor het meten van afstanden gebaseerd op de analyse van de eigenschappen van een laserlicht dat teruggekaatst wordt naar de zender.
<b>LOS</b>	<i>Line of Sight</i> (zichtbereik)
<b>MCU</b>	<i>Microcontroller Unit</i>
<b>METAR</b>	<i>Meteorological Aerodrome Report</i> (weerrapport van een luchthaven) Volledig meteorologisch rapport dat op regelmatige tijdstippen opgesteld wordt door de meteorologische dienst op een vliegveld.
<b>MP</b>	Megapixel
<b>NADIR</b>	Perfect verticale foto-opname vanuit de lucht
<b>NOTAM</b>	<i>Notice to Airmen</i> (mededeling aan luchtvaarders)
<b>PMU</b>	<i>Power Management Unit</i> (energiemanagementsysteem) Systeem dat de energie tussen de verschillende onderdelen van de drone optimaal verdeelt.
<b>PPK</b>	<i>Post-Processed Kinematic</i> (naverwerkte kinematica) Verbeterde plaatsbepalingstechniek via satelliet, gebaseerd op het uitgestelde gebruik van data die verzonden worden door een referentiestation.
<b>RGB</b>	<i>Red, Green, Blue</i> (Rood, Groen, Blauw)
<b>RPA</b>	<i>Remotely Piloted Aircraft</i> (vanop afstand bestuurd luchtvaartuig)
<b>RPAS</b>	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i> (vanop afstand bestuurd luchtvaartuigstelsel)
<b>RTK</b>	<i>Real Time Kinematic</i> (kinematica in realtime) Verbeterde plaatsbepalingstechniek via satelliet, gebaseerd op het realtimegebruik van data die verzonden worden door een referentiestation.
<b>SFM</b>	<i>Structure From Motion</i> (structuur op basis van beweging) Categorie van optimalisatiealgoritmen die puntenwolken in lage resolutie genereren op basis van meerdere foto's, evenals de instellingen van de camera's die gebruikt worden om deze foto's te genereren.
<b>SLAM</b>	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i> (gelijktijdige plaatsbepaling en cartografie) Systeem dat aan de hand van een meettoestel toelaat om gelijktijdig de omgeving te reconstrueren en zich hierin te positioneren.
<b>TLS</b>	<i>Terrestrial Laser Scanner</i> (terrestrische laserscanner) Digitale opmetingsmethode in hoge resolutie op basis van de LIDAR-technologie. Ook wel 'laserafmeting' of 'lasergrammetrie' genoemd.
<b>TOF</b>	<i>Time of Flight</i> (vliegtijd)
<b>UAS</b>	<i>Unmanned Aircraft System</i> (onbemand luchtvaartuigstelsel)
<b>UAV</b>	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (onbemand luchtvaartuig)
<b>VLOS</b>	<i>Visual Line of Sight</i> (zichtbereikvlucht) Besturingsmodus waarbij afstandspiloot of de waarnemer die in permanent contact staat met de afstandspiloot een rechtstreeks visueel contact houdt met het op afstand bestuurd luchtvaartuig.

# 1. CONTEXT

Nog maar enkele jaren geleden waren drones voorbehouden voor uiterst geavanceerde toepassingen, voornamelijk voor militaire doeleinden. Velen hebben deze technologie ontdekt bij het zien van de beelden van gewapende conflicten die zich in het begin van de jaren 2000 afspeelden. In dezelfde periode zagen we ook vanop afstand bestuurd vliegtuigjes en helikopters verschijnen bij de modelvliegtuigclubs. Het ging om kleinere modellen waar men heel wat enthousiasme en doorzettingsvermogen voor nodig had om ze in elkaar te steken en te besturen.

Vandaag hebben 'slimme' drones het grote publiek voor zich weten te winnen. De beelden van een drone die pakjes bezorgt bijvoorbeeld, een idee van een bekende online verdeler, gingen de hele wereld rond. De moderne toestellen zijn voor iedereen beschikbaar. Het beste bewijs hiervan zijn de kleine drones die voor enkele tientallen euro's online te koop zijn en waarmee men zelfs al kleine filmpjes vanuit de lucht kan maken zonder dat hiervoor specifieke besturingsvaardigheden vereist zijn. **De enorme diversiteit aan camera's en andere tools waarmee een drone uitgerust kan worden, maakt het voor de verschillende beroepssectoren interessant om de drone voor allerlei taken te gebruiken.** De mijnindustrie, de energiesector, de landbouw- en bosbouwsector, de media en zelfs de vastgoedwereld zijn sectoren die zich deze technologie snel eigen hebben gemaakt.

De moderne drone is uiteraard het resultaat van een resem aan technologische innovaties die in de loop van de voorbije decennia op punt werden gesteld. Het doel van dit hoofdstuk is een beter inzicht te krijgen in de technologische context.

## 1.1 VAN DE EERSTE STAPPEN NAAR DE ENORME MARKTGROEI

De eerste onbemande vliegtuigen werden tijdens de Eerste Wereldoorlog gebouwd. Het ging oorspronkelijk om 'vliegende bommen'. Een gyroscoop (†) zorgde ervoor dat er niet van het traject werd afgeweken en de motor werd voorgeprogrammeerd om na een bepaalde vliegtijd uit te vallen (zie afbeelding 1). Dergelijke toestellen waren niet erg betrouwbaar en werden uiteindelijk nooit gebruikt tijdens de gevechten. In 1937 werd de eerste openbare demonstratie gegeven van een luchtvaartuig dat vanop afstand bestuurd kon worden. Op dat moment werd er een belangrijke stap gezet: voortaan was het mogelijk om het traject van een toestel te wijzigen tijdens de vlucht.

In de loop van de voorbije decennia hebben tal van ingrijpende veranderingen op technologisch vlak het pad geëffend voor de markt van civiele drones zoals we deze vandaag kennen. De opkomst van elektromechanische miniatuursystemen in de jaren 1970 en de algemene tendens tot de verkleining van elektronische onderdelen hebben het mogelijk gemaakt om steeds kleinere en lichtere drones te ontwikkelen (zie afbeelding 2). De systemen met automatische besturing gingen de civiele drones aan het einde van de jaren 2000 vooraf. Het bedrijf MikroKopter heeft een sleutelrol gespeeld in deze ontwikkeling door vluchtregelaars (zie § 3.1.5, p. 19) te produceren die voorzien waren een GNSS-systeem (‡) dat op dat moment nog maar net op de markt was verschenen in 1995 [C2]. Deze elektronische componenten vormen het 'centrale zenuwstelsel' van de



Bron: Greg Hume

Afb. 1 De 'Kettering Bug' wordt vaak aanzien als de voorvader van moderne drones.



Bron: Richard Watt/MOD

Afb. 2 De 'Black Hornet Nano', een miniatuurdrones is het resultaat van ontwikkelingen op het vlak van de elektronica.

(†) Een sensor die een richtingswijziging aangeeft.

(‡) Het Amerikaanse gps-systeem (*Global Positioning System*) is de eerste GNSS-technologie die toegepast werd in toestellen voor het brede publiek. Bij uitbreiding wordt de benaming 'gps' algemeen gebruikt voor plaatsbepalingssystemen op basis van satellieten. Er bestaan echter ook nog andere systemen zoals het Russische GLONASS en het Europese Galileo.

## 1. Context

moderne drones en worden vandaag de dag tegen lage prijzen geproduceerd. **Functies zoals de automatische piloot, die voordien enkel voor de hoogwaardige modellen voorbehouden waren, zijn heel normaal bij de huidige modellen.** De impact van de nieuwe technologieën voor gegevensoverdracht mag ook niet vergeten worden aangezien deze het mogelijk hebben gemaakt om performante systemen te ontwikkelen waardoor drones en apparatuur vanop erg grote afstand te controleren zijn. Bovendien hebben ze de aanzet gegeven voor realtime-gegevensverzameling. **Het zendbereik blijft maar groeien terwijl het risico op interferenties vermindert.** Ten slotte moeten we het ook hebben over de ontwikkeling van nieuwe materialen zoals de carbonvezel, die snel opgepikt werd door dronefabrikanten.

De digitale technologieën ondergaan een nooit geziene democratisering **op het vlak van kosten en gebruiksgemak.** Een gepassioneerde amateur met een basiskennis in programmatie en elektronica kan tegenwoordig zelf een drone ‘op maat’ maken door verschillende onderdelen samen te voegen, die hij zelf kiest op basis van de gewenste prestaties en functionaliteiten. **Ook de rol van het internet heeft bijgedragen tot het succes van drones.** E-commerceplatformen, fora en tutorials maken evenzeer de wereld van de drones toegankelijk. Vandaag de dag bieden de dronefabrikanten robuuste en vliegklare toestellen aan voor de professionele gebruikers.

### 1.2 GEEN GADGET OF VERRE TOEKOMST

Langzamerhand weten de drones ook de bouwprofessionals voor zich te winnen. In het digitale tijdperk is de drone een krachtig instrument dat een volledig nieuwe inkijk geeft in gebouwen en werven (zie afbeelding 3). Het zou spijtig zijn om drones alleen te beschouwen als eenvoudige gadgets, die geen meerwaarde meer kunnen creëren voor de bouwprofessional eenmaal de hype voorbij is. Dat is helemaal niet het geval. Hoewel de speelgoedrekken tegenwoordig gevuld zijn met goedkope kleine drones met een beperkt aantal functies, **zijn de toestellen die ontworpen worden voor de professionals uitermate polyvalent en performant.** De drones zijn uitgerust met een camera om luchtfoto's van lopende of afgewerkte projecten te maken (zie afbeelding 4), en ze zijn zelfs in staat om 3D-modellen te creëren op basis van deze beelden. Ze zijn eveneens perfect geschikt voor inspectie- of monitoringtaken. Hun gebruik vereenvoudigt het ontwerp en de uitwerking van projecten, maakt het mogelijk om een aantal kosten aanzienlijk te drukken en vermindert bovendien bepaalde risico's voor de werknemers. Het staat vast dat drones in de toekomst voor nog heel wat meer taken ingezet zullen worden (werftoezicht, transport van gereedschap ...).

Om het dagelijkse gebruik van drones mogelijk te maken, is het van cruciaal belang om niet alleen een goed begrip te hebben van de technologie, maar ook van de mogelijkheden en de beperkingen van de drones. Drones doen een beroep op geavanceerde digitale technieken. Het professionele gebruik van drones berust dus niet op improvisatie en behoeft **een opleiding die meer inhoudt dan louter leren vliegen.** De besturing van het toestel moet niet als een doel op zich aanzien worden; **de regelmatige uitvoering van opdrachten in beveiligde omstandigheden en het doelgericht en efficiënt verzamelen van gegevens vormen de echte uitdagingen van het dronegebruik.** De fabrikanten van drones en van hun apparatuur evenals de softwareontwikkelaars zetten hun beste beentje voor om deze doelstellingen te behalen.



Afb. 3 Een drone op een werf.



Afb. 4 Gebruik van een drone voor de fotogrammetrische opmeting van een gebouw.

## 2. OVERZICHT VAN DE TECHNOLOGIE

### 2.1 TERMINOLOGIE

In de omgangstaal verwijst een drone naar een onbemand luchtvaartuig dat vanop afstand bediend wordt of autonoom vliegt. De technische terminologie met betrekking tot drones is in werkelijkheid complexer dan op het eerste gezicht lijkt. Zo bestaan er tal van internationale termen en acroniemen om ze aan te duiden.

#### Drone

In het Engels werd het woord 'drone' voor het eerst gebruikt in een militaire context. In de jaren 2000 werd de term overgenomen door de Nederlandstalige en Franstalige pers, hetgeen verklaart waarom deze term vandaag veelvuldig gebruikt wordt in artikels, boeken of op evenementen die zich richten tot het grote publiek. De militaire connotatie van het woord 'drone' verdwijnt voor velen geleidelijk aan dankzij tal van reportages die de verschillende toepassingen van drones in de kijker zetten. De benaming doet niet langer alleen denken aan onbemande bommenwerpers, maar ook aan op afstand bestuurd toestellen die diverse civiele taken kunnen uitvoeren. Voor het gemak zullen we in dit document dus steeds de term 'drone' gebruiken.

#### UAV en UAS

De termen '*Unmanned Aerial Vehicle*' (UAV) en '*Unmanned Aerial System*' (UAS) zijn technischer en zeer wijdverspreid in de Engelstalige wereld en officiële literatuur. De afkorting UAV groepeerde alle onbemande luchtvaartuigen die min of meer 'slim' zijn of zelfs volledig autonoom. Er wordt soms ook eenvoudigweg gesproken over '*Unmanned Aircraft*' (UA). Het acroniem UAS is breder, en heeft niet alleen betrekking op de drone, maar ook op de apparatuur die nodig is om het toestel vanop afstand te besturen. Deze twee termen zijn goed bekend bij de professionals in de Engelstalige wereld [C2].

#### RPAS

De term '*Remotely Piloted Aircraft System*' (RPAS), die vertaald kan worden als 'vanop afstand bestuurd luchtvaartuig-systemen' slaat enkel op de systemen die bestuurd worden door een gekwalificeerde afstandspiloot. Deze kan op ieder moment de controle over het luchtvaartuig overnemen [A2], wat niet noodzakelijk het geval is wanneer men het heeft over een UAS. Bepaalde instellingen zoals de Internationale Burgerluchtvaartorganisatie en de Europese Commissie [H1] verkiezen deze benaming. De term wordt vrij weinig gebruikt buiten Europa [C2]. Ongeacht zijn vorm bestaat een RPAS minimaal uit:

- het eigenlijke luchtvaartuig (of RPA) dat verschillende vormen en maten kan aannemen. Tabel 1 geeft een voorbeeld van een classificatie van de toestellen in functie van hun gewicht en van hun mogelijke toepassing. In de rest van dit document wordt de nadruk gelegd op toepassingen in de bouwsector en dus hoofdzakelijk op toestellen van minder dan 20 kilogram
- de besturingsunit of afstandsbediening voor de besturing
- een verbindingssysteem tussen de besturingsunit en de drone.

Naast de gebruikelijke benamingen zijn er een heel aantal minder courante classificaties en termen die verwijzen naar de functie van de drone (bv. '*Unmanned Combat Aerial Vehicle*') of naar één van de fysieke kenmerken (bv. NAV voor '*Nano Air Vehicle*').

Tabel 1 Categorisatie van drones volgens hun formaat (gebaseerd op [H1]).

Categorie (gewicht bij benadering)	Huidige en toekomstige toepassingen
RPAS micro/nano/miniatur, gewicht van een paar honderd gram	Recreatief gebruik (stuntvliegen, 'FPV'-vliegen) en soms commercieel gebruik (bewaking en inspectie van moeilijk bereikbare en nauwe plaatsen) Beperkt vliegbereik vanwege de lage vliegautonomie
RPAS van klein formaat, gewicht minder dan 2 kg	Recreatief en commercieel gebruik (foto- en videografie)
RPAS van klein formaat, gewicht tussen 2 en 7 kg	Voornamelijk commercieel gebruik (geavanceerde foto- en videografie, opmetingen, inspectie) Enkele grote modellen voor recreatief gebruik, voor liefhebbers
RPAS van klein formaat, gewicht tussen 7 en 20 kg	Voornamelijk commercieel gebruik (geavanceerde foto- en videografie, opmetingen, inspectie) Enkele grote modellen voor recreatief gebruik, zeer specifiek
RPAS van groot formaat, gewicht tussen 20 en 50 kg	Potentieel voor bewaking en opvolging op grote schaal (inspectie van pijpleidingen en hoogspanningsleidingen, sproeien van landbouwgrond ...)
RPAS van groot formaat, gewicht tussen 50 en 150 kg	Potentieel voor bewaking en opvolging op zeer grote schaal (grenzen, bosbranden ...)
RPAS van zeer groot formaat, gewicht van meer dan 150 kg	Potentieel voor vrachtvervoer Kan gedurende erg lange tijd in de lucht blijven



## 2. Overzicht van de technologie

### 2.2 SOORTEN DRONES

Er bestaan tal van modellen die variëren naargelang van hun vorm, afmetingen, aandrijfsysteem of de gebruikte energiebron. Oorspronkelijk namen de drones vormen aan die vergelijkbaar waren met traditionele luchtvaartuigen: ze leken op vliegtuigen of helikopters. Later werden de vormen aangepast om zo goed mogelijk te beantwoorden aan de specifieke opdrachten die beoogd werden. Overbodige elementen werden weggelaten en bepaalde cruciale onderdelen voor het vanop afstand bestuurd vliegen werden geoptimaliseerd. Het is belangrijk om een duidelijke onderscheid te maken tussen enerzijds de drone op zich, zijnde een vliegend platform dat voorzien is van een op afstand bestuurd controlesysteem, en anderzijds de instrumenten die eraan bevestigd worden, meer bepaald de 'nuttige lading' [C2]. Hoewel de drone op zichzelf geen meetinstrument is, is de drone op een zodanige manier ontworpen dat het gebruik van de instrumenten waarmee de drone uitgerust is, geoptimaliseerd wordt.

In dit document zullen we niet in detail ingaan op de fysieke aspecten die verbonden zijn aan het vliegen met een drone. De lezer kan deze informatie in tal van gespecialiseerde werken terugvinden. Toch mogen we niet vergeten dat het de opwaartse druk de kracht is die het toestel in de lucht houdt door het naar boven te 'trekken'. Op basis van hun algemene ontwerp en de manier waarop de opwaartse druk gegeneerd wordt, kunnen we drie grote soorten drones onderscheiden die hierna verder worden toegelicht.

#### 2.2.1 DRONES MET VASTE VLEUGELS

Bij de drones met vaste vleugels wordt de mogelijkheid om de wetten van de zwaartekracht te omzeilen verzekerd door de aanwezigheid van één of meerdere vaste vleugels. Het specifieke profiel van de vleugels zorgt ervoor dat er een 'opwaartse' kracht ontstaat wanneer het toestel aan relatieve wind onderworpen wordt <sup>(3)</sup>. Drones die de vorm hebben van een standaardvliegtuig, behoren tot deze categorie, maar ook een heel aantal andere toestellen met meer originele vormen. Wanneer de vleugels en de romp van een vliegtuig niet van elkaar onderscheiden kunnen worden, spreekt men in het algemeen over 'vaste-vleugeltoestellen' (zie afbeelding 5).

Drones met vaste vleugels kunnen lange afstanden overbruggen en zijn uiterst geschikt voor cartografie-taken. De nood om een minimale verplaatsingssnelheid aan te houden en de beperkte controle van hun bewegingen maken het echter niet mogelijk om precieze manoeuvres uit te voeren rondom voorwerpen. Om op te stijgen hebben ze bovendien een horizontale beginsnelheid nodig, waardoor ze dus 'gelanceerd' moeten worden.



Bron: Trimble

Afb. 5 Een drone met vaste vleugels.

#### 2.2.2 DRONES MET ROTERENDE VLEUGELS

Bij drones met roterende vleugels blijft het toestel in de lucht hangen door middel van één of meerdere rotors. Elke propeller, die parallel met de grond georiënteerd is, zal een verticale kracht op de lucht uitoefenen wanneer de propeller begint te draaien. In deze categorie vinden we toestellen die lijken op helikopters, maar ook drones met meer specifieke vormen. Het grootste voordeel van drones met roterende vleugels is dat ze kunnen stilhangen in de lucht, waardoor men een betere stabiliteit bekomt om foto's te maken en men het voorwerp vanuit meerdere perspectieven kan bekijken.

<sup>(3)</sup> Relatieve wind verwijst naar de wind waaraan een voorwerp in beweging onderworpen wordt.

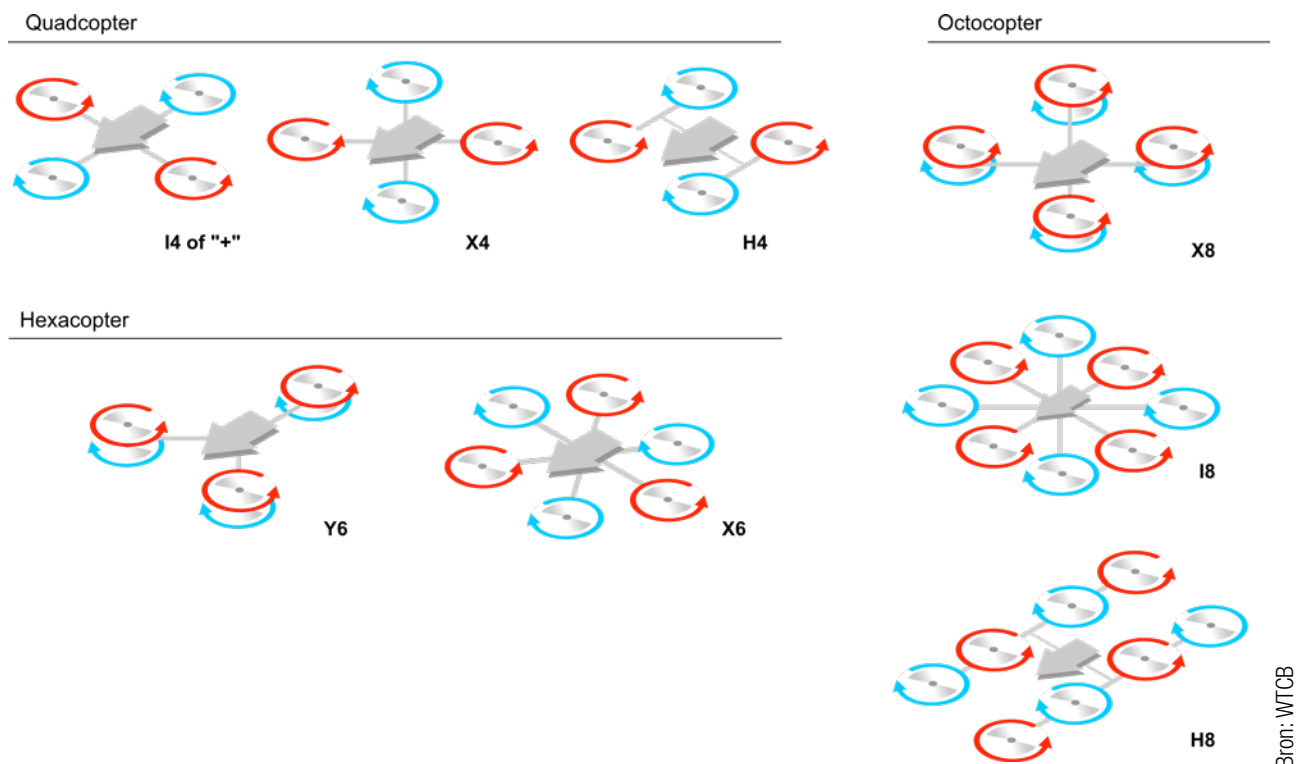
Helikopters zijn welbekend in de traditionele vliegwereld. Bij dit soort toestellen gaat het om één enkele rotor ('hoofdrotor') die het toestel in de lucht houdt. Om te vermijden dat het toestel zelf rond zijn as begint te draaien wanneer de hoofdrotor draait, ten gevolge van het principe van actie en reactie, is een staartrotor onmisbaar (zie afbeelding 6).



Bron: Pulseaero

Afb. 6 De helikopter is een subtype van een drone met roterende vleugels. Merk op dat er een staartrotor aanwezig is die ervoor zorgt dat het toestel niet rond zijn as begint te draaien.

**Multicopters, ook wel 'multirotors' genoemd, zijn erg populair.** Deze zijn uitgerust met verschillende 'armen' waaraan identieke propellers bevestigd worden aan de uiteinden. Het aantal propellers en hun configuratie kan erg verschillen zoals aangetoond wordt in afbeelding 7. Deze afbeelding toont eveneens dat de draairichting van de propellers steeds afgewisseld wordt. Indien alle propellers immers in dezelfde richting zouden draaien en aan dezelfde snelheid, zou het toestel uit zichzelf rondom zijn massamiddelpunt beginnen te draaien.



Bron: WTCB

Afb. 7 Vaak voorkomende configuraties van de propellers van multicopters. De draairichting van de propellers wordt aangegeven door een gekleurde pijl.

## 2. Overzicht van de technologie



Bron: WTCB

Afb. 8 Een quadcopter is een erg populair type drone dankzij zijn eenvoud. Voorbeeld van een 'vliegklaar' model.



Bron: Topcon

Afb. 9 Een octocopter type 'H8' die kan blijven vliegen zelfs wanneer één van de rotors stopt met werken.

Het aantal en de configuratie van de propellers zal een invloed hebben op de stabiliteit van de vlucht, de autonomie en zelfs de veiligheid. Multicopters met vier propellers, ook wel 'quadcopters' of 'quadrocopters' genoemd (zie afbeelding 8), zijn erg succesvol omwille van hun prijs-prestatieverhouding. Hun ontwerp is simpel, maar van zodra één van hun rotors stopt met draaien of beschadigd raakt, kunnen ze niet meer stabiel vliegen. Het gebruik ervan voor opdrachten waarbij boven of dicht in de buurt van personen gevlogen moet worden, is bijgevolg niet wenselijk. In sommige gevallen worden de propellers op iedere 'arm' van de drone verdubbeld (bv. model 'Y6' of 'X8'), hetgeen het mogelijk maakt om de vliegveiligheid te verhogen: bij een gebrek aan één van de **coaxiale rotoren**, zal het toestel stabiel kunnen blijven vliegen. In het algemeen kunnen we stellen dat hexacopters (zes motoren) en octocopters (acht motoren, zie afbeelding 9) veeleer door professionals gebruikt worden.

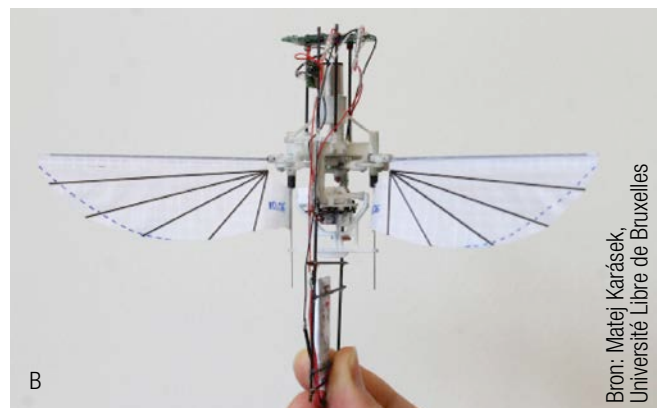
### 2.2.3 ANDERE SYSTEMEN

Naast de drones met vaste vleugels en de multicopters, die al in heel wat sectoren gebruikt worden, zijn er nog tal van minder duidelijk gedefinieerde systemen. **Hybride drones vallen onder deze categorie; ze proberen het beste van beide werelden te combineren**, namelijk de verplaatsingssnelheid en de autonomie van de vaste vleugel met de mogelijkheid om stil te blijven hangen in de lucht. De VertiKUL is een voorbeeld van een hybride platform (zie afbeelding 10A). Deze werd ontworpen door de masterstudenten van de KUL om een gewicht van 1 kg te kunnen verplaatsen over een afstand tot 30 km [C1].

Er bestaan echter nog originelere dronetypes. Zoals onder meer drones die de vorm van een ballon aannemen en de 'ornithopters' [C2]. Deze 'ornithopters' blijven in de lucht blijven dankzij hun vleugels die klapperende bewegingen maken zoals bij een insect, een vogel of een vleermuis (zie afbeelding 10B).



Bron: Katholieke Universiteit Leuven



Bron: Matej Karásek, Université Libre de Bruxelles

Afb. 10 Er zijn heel wat soorten drones die niet behoren tot de categorie van de vaste vleugels of van de roterende vleugels. A. Hybride drone die een hoge verplaatsingssnelheid combineert met de mogelijkheid om verticaal op te stijgen. B. Biomimetica aan de hand van een 'ornithopter'-drone.



## 2.3 EEN DRONE KIEZEN

Een toestel kiezen is een ingewikkeld karwei. De aard van de beoogde opdrachten en het kader waarin deze zullen plaatsvinden, vormen uiteraard een doorslaggevende factor bij het selectieproces. In tabel 2 worden enkele criteria samengevat waarmee men een onderscheid kan maken tussen de drie meest gangbare dronetypes. We merken op dat in de bouwsector alleen de drones met vaste vleugels of multicopters courant gebruikt worden. De toestellen met vaste vleugels blijven evenwel voorbehouden voor opdrachten op grote schaal of voor de opmeting van uitgestrekte stukken grond, wijken of zelfs steden.

Tabel 2 Belangrijke criteria het kiezen van een dronetype.

Soort drone	Vaste vleugels	Helikopters	Multicopters
Stationair vliegen en verticaal opstijgen	Nee	Ja	Ja
Moeilijkheid om te besturen	Laag	Hoog	Gemiddeld
Mechanische complexiteit	Gemiddeld	Hoog	Laag
Elektronische complexiteit	Laag	Gemiddeld	Hoog
Kosten en complexiteit van herstellingen na een crash	Laag	Hoog	Gemiddeld
Vliegafstand	Lang	Gemiddeld	Kort
Vliegautonomie	Lang	Gemiddeld	Kort

Voor iedere categorie drone vinden we tal van modellen op de markt, met een grote diversiteit aan vormen en prestaties. Ter informatie kan men hieronder enkele parameters terugvinden die kunnen helpen bij het kiezen van het geschikte model uit het aanbod aan multicopters.

### De grootte

Terwijl een kleine multicopter discreet door het luchtruim kan vliegen en de risico's beperkt zijn wanneer er eventueel binnenshuis gevlogen wordt, mogen alleen de grootste multicopters zwaar materiaal mee aan boord nemen. De grootste toestellen hebben echter wel meer logistieke beperkingen (bv. op het vlak van veiligheid en transport).

### De veiligheid

Er zijn tal van parameters waarmee de koper het veiligheidsniveau van een drone kan inschatten, zoals onder andere: het aantal motoren, de elektronische redundantie, de aanwezigheid van bescherming ter hoogte van de propellers, de sensoren voor het vermijden van hindernissen of functies zoals het automatisch terugkeren van de drone bij signaalverlies.

### De modulariteit van het systeem

De mate waarin het systeem van een drone kan worden aangepast, is van fundamenteel belang en varieert enorm van de ene fabrikant tot de andere. Dit criterium is bijzonder belangrijk wanneer de drone een hoge aankoopprijs heeft. Het ontwerp van sommige drones bestaat uit een samenvoeging van elektronische componenten die makkelijk te vervangen en/of te verbeteren zijn; andere drones zijn volledig 'gesloten' en moeten terug naar de fabriek voor iedere herstelling. Bepaalde fabrikanten bieden ook de mogelijkheid aan om apparatuur te integreren die de koper later kan activeren, hetgeen interessant kan zijn als investering op lange termijn.

### De modulariteit op het vlak van nuttige lading

Het is belangrijk om het type en het aantal instrumenten waarmee de multicopter uitgerust kan worden te analyseren. Bepaalde modellen beschikken uitsluitend over een niet-verwijderbare camera: er kan geen andere apparatuur bevestigd worden zonder daarbij het risico te lopen dat het vlieggedrag gewijzigd wordt. Aan de andere kant van het gamma hebben we de professionele modellen die uitgerust kunnen worden met tal van sensoren, die niet noodzakelijk van het merk van de dronefabrikant moeten zijn.

## 2. Overzicht van de technologie

### De autonomie

De vliegautonomie is een cruciale parameter. Deze kan gaan van een kleine tiental minuten tot ongeveer een uur voor bepaalde zeer gespecialiseerde modellen. Doorgaans hebben de meeste modellen een effectieve vliegtijd van een twintigtal minuten. Bepaalde modellen kunnen uitgerust worden met meerdere batterijen in functie van de beoogde opdracht.

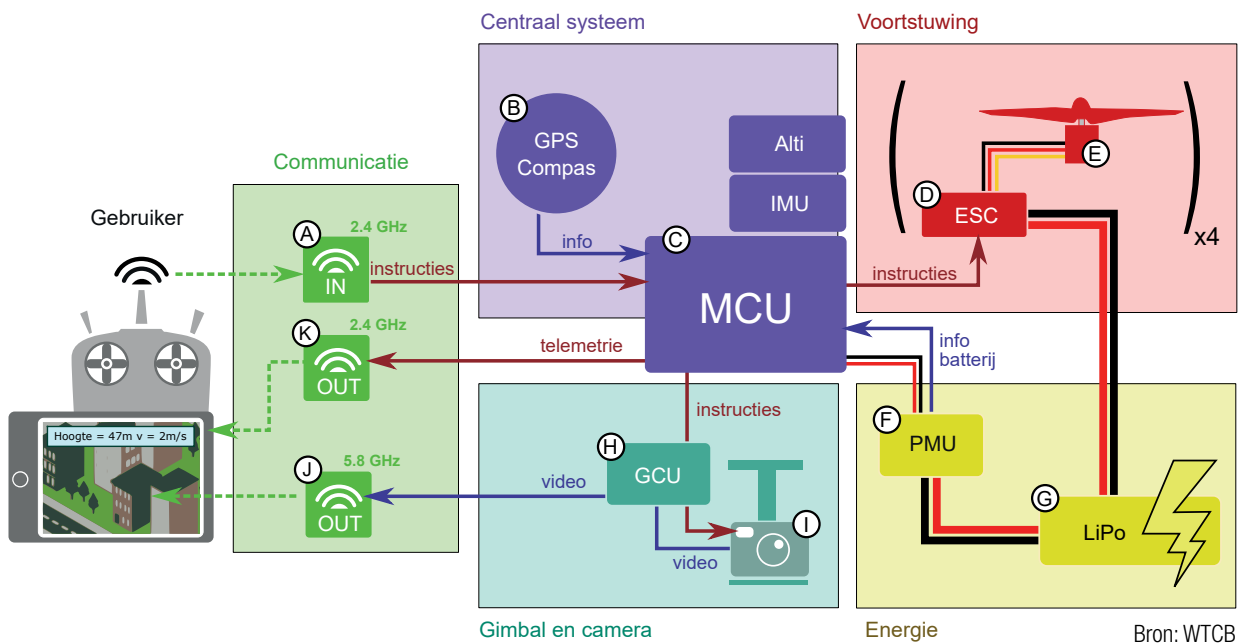
### De intelligentie

Dankzij allerlei technologieën kan men de drones ‘intelligenter’ maken, waardoor de drone de omgeving beter kan waarnemen, zich beter in de ruimte kan lokaliseren en zijn vlucht eventueel kan aanpassen aan de hindernissen die de drone tegenkomt. Deze intelligentie gaat bij sommige drones zelfs zo ver dat ze volledig autonoom kunnen vliegen en ze op zichzelf opdrachten kunnen uitvoeren.

We kunnen daarnaast ook nog andere aspecten in rekening nemen zoals de geschatte levensduur van de RPA (in vliegen), de windweerstand en de bestendigheid tegen weersinvloeden, de bestendigheid tegen storende magnetische velden, de verticale en horizontale verplaatsingssnelheden, de actieradius, het geluid dat de RPA genereert en het geluid dat op de grond waargenomen zal worden.

# 3. ANATOMIE VAN EEN ELEKTRISCHE MULTICOPTER EN DE BIJHORENDE UITRUSTING

Multicopters zijn geen zeldzaamheid meer en dankzij hun kwaliteiten die beschreven werden in het vorige hoofdstuk, zijn ze geschikt voor heel wat opdrachten binnen de bouwsector. De toestellen die vanop afstand bestuurbaar zijn (RPA) en op elektrische energie werken, zullen in dit hoofdstuk meer in detail beschreven worden. [Afbeelding 11](#) beschrijft de componenten van een quadcopter van het type X4 uitgerust met een camera, wat vandaag nog steeds het instrument is dat het vaakst op een professionele drone gemonteerd wordt.



A: Ontvanger	D: Elektronische snelheidsregelaar (ESC = <i>Electronic Speed Controller</i> )	H: Opnameregelaar (GCU = <i>Gimbal Control Unit</i> )
B: GPS et kompas	E: Borstelloze of <i>brushless</i> motor	I: Gimbal en camera
C: Vluchtregelaar (FC = <i>Flight Controller</i> , Alti = barometer/hoogtemeter, IMU = <i>Inertial Measurement Unit</i> )	F: Voedingsregelaar (PMU = <i>Power Management Unit</i> )	J: Videotransmitter
	G: LiPo-batterij	K: Telemetriemodule

Afb. 11 Vereenvoudigd schema van het werksmechanisme van een quadcopter. Het gaat om een geïdealiseerd schema; de modellen die op de markt beschikbaar zijn, kunnen hiervan afwijken.

## 3.1 STANDAARDCOMPONENTEN

### 3.1.1 AANDRIJVINGSSYSTEEM

Iedere propeller van de multicopter is gekoppeld aan een motor die de elektrische energie van de batterijen omzet in mechanische rotatie-energie. De borstelloze gelijkstroommotoren, beter bekend als ‘*brushless*’ motoren, domineren momenteel de markt van de professionele drones. De omzetting van gelijkstroom uit de batterij naar een signaal dat aan de motor is aangepast, gebeurt door middel van een klein elektrisch circuit dat de naam ‘*Electronic Speed Controller*’ (ESC) krijgt. Iedere ESC kan de draaisnelheid van de eraan gekoppelde motor controleren. ESC’s staan dus centraal bij de controle van de bewegingen die een drone maakt: ze zorgen ervoor dat er individueel ingegrepen kan worden op iedere motor en dus ook op iedere propeller.

### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

Tijdens de vlucht zal het gewicht van het toestel een kracht uitoefenen op de propellers [A1]. De mechanische eigenschappen van de propellers zijn dus van essentieel belang. Hoe groter ze zijn, hoe belangrijker de opwaartse stuwkracht zal zijn. Bij een gelijke draaisnelheid zullen de mechanische belastingen die op grote propellers uitgeoefend worden evenwel groter zijn dan op kleine propellers. Bovendien zullen de daaraan gekoppelde motoren krachtiger moeten zijn en zullen ze dus meer energie verbruiken.

#### 3.1.2 HET FRAME

Het frame vormt de structuur van de drone waarop de andere componenten, zijnde de elektronische onderdelen, de motoren of de verschillende sensoren bevestigd zullen worden. Deze structuur kan zeer verschillende vormen aannemen naargelang van het soort drone. Bij een identiek vermogen zal een drone die opgebouwd is uit lichtere componenten een groter gewicht kunnen optillen. Dit verklaart waarom er voortdurend naar lichte en sterke materialen wordt gezocht voor de vormgeving van het frame.

Op een multicopter vinden we doorgaans ‘armen’ waarop de motoren bevestigd worden. Deze armen kunnen mechanisch gekoppeld worden aan een centraal element van het frame of rechtstreeks in een ‘monoblock frame’ gegoten worden. De lengte van de armen zal afhankelijk zijn van het belang dat gehecht wordt aan de stabiliteit en aan de manoeuvreerbaarheid van de drone. Indien men de voorkeur geeft aan stabiliteit, zal er gekozen worden voor lange armen, terwijl korte armen de drone meer reactief zullen maken. Om het transport eenvoudiger te maken, beschikken bepaalde frames over wegklapbare elementen (zie afbeelding 12). Het landingsgestel kan beschouwd worden als een onlosmakelijk deel van het frame. Hierdoor kan de drone op de grond gezet worden zonder dat de aangebrachte apparatuur beschadigd wordt. Het is eveneens mogelijk om een vanop afstand intrekbaar onderstel te monteren, zodat er niets in de weg van de camera zit.



Afb. 12 Plooibare armen die het transport van de drone vereenvoudigen.

#### 3.1.3 COMMUNICATIESYSTEEM

Het radiocommunicatiesysteem is het instrument dat zorgt voor de interface tussen mens en machine. De afstandspiloot bedient de verschillende hendels en knoppen van de afstandsbediening (zie § 3.3.1, p. 28) en de overeenkomstige instructies worden door middel van radiogolven via een zender doorgestuurd naar een ontvanger die geïnstalleerd is op de drone. De drone kan op zijn beurt heel wat informatie doorgeven aan de piloot: vlieghoogte, verplaatsingssnelheid, percentage beschikbare energie van de batterij ... Dit noemen we ‘telemetrie’. Momenteel worden de bandbreedten 2,4 Ghz en 5,8 Ghz het vaakst gebruikt voor de communicatie met drones.

#### 3.1.4 ENERGIEBRON EN ENERGIEBEHEER

Het merendeel van de elektrische multicopters zijn uitgerust met batterijen van het type *lithium-ion-polymeer* of LiPo. Deze batterijmodellen kunnen voldoende energie opslaan en hun gewicht ligt lager dan dat van Lithium-ion-batterijen, die dezelfde capaciteit hebben. Ze hebben met andere woorden de beste verhouding vermogen/massa. Bovendien is het erg praktisch dat ze een snelle ontleding kunnen bieden vanwege hun lage interne weerstand. Dit soort batterij is evenwel zeer ontvlambaar en het is dus essentieel om rekening te houden met dit risico bij het hanteren, het opladen en het stockeren van de batterijen.

## 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

Voor de afstandspiloot van de drone is het belangrijk om het exacte batterijniveau te kennen tijdens een vlucht. Zo zal hij kunnen inschatten wanneer de drone teruggebracht moet worden naar de landingszone die in het vliegplan bepaald werd. Een drone waarvan de batterij uitvalt, zal in het beste geval een automatische noodlanding inzetten. Dit is meestal een verticale afdaling vanuit de plaats waar het toestel zich in de lucht bevindt. Het is uiteraard ten eerste af te raden om deze grens op te zoeken. Om gevaarlijke situaties te vermijden, beschikt het merendeel van de moderne drones over een permanent controlesysteem voor de batterij waarmee de vliegveiligheid verhoogd kan worden. In bepaalde gevallen zal er een microcontroller aanwezig zijn, die specifiek tot doel heeft om de energie binnenin de drone te beheren en deze te verdelen over de verschillende onderdelen: men spreekt soms van een PMU, wat staat voor ‘Power Management Unit’.

### 3.1.5 CENTRAAL ‘ZENUWSTELSEL’

We hebben nu al het frame beschreven waarop de batterijen en de motoren bevestigd zullen worden. Deze zijn op hun beurt verbonden aan ESC's, deze zorgen voor de voeding en regelen de draaisnelheid. We hebben eveneens gezien dat de afstandspiloot een afstandsbediening hanteert, die via radiogolven signalen uitstuurt naar een ontvanger die op het frame bevestigd is. Op samengestelde systemen met verschillende motoren zoals een multicopter, zal de vluchtregelaar (ook wel de autopiloot genoemd en soms aangeduid met de initialen MCU voor ‘Microcontroller Unit’ of FC voor ‘Flight Controller’), de signalen van de afstandsbediening, die via de radio-ontvanger doorgestuurd worden, omzetten in gecoördineerde instructies die naar de ESC worden gestuurd. De taal van de ‘afstandsbediening’ (bv. de linker stuurknuppel <sup>(4)</sup> naar boven duwen) zal omgezet worden in de taal van ‘bewegingen’ (een verplaatsing naar omhoog).

Moderne drones zitten vol elektronische snufjes en kunnen hun traject voortdurend corrigeren. De correcties zijn gebaseerd op concrete metingen die gebeuren met behulp van tal van vliegsensoren, waardoor de drone zijn positie zal kunnen bepalen: magnetometers, gyroscopen, versnellingsmeters of druksensoren. De IMU (‘Inertial Measurement Unit’), is het elektronische toestel dat de gegevens van de bewegingen verzamelt en doorstuurt naar de vluchtregelaar. Indien de drone uitgerust is met een gps, zal hij zelf zijn geografische positie kunnen inschatten en eventueel een voorgeprogrammeerde route kunnen volgen. De geolokalisatie zorgt er ook voor dat er verwezen kan worden naar de gegevens die tijdens vlucht verzameld zijn.

## 3.2 NUTTIGE LADING EN AANGEBRACHTE TOOLS

Naargelang van hun eigenschappen zijn de drones in staat om een bepaalde nuttige lading <sup>(5)</sup> te dragen. Dit is dus het gewicht dat de drone kan optillen bovenop zijn eigengewicht zonder te moeten inboeten aan vliegcapaciteit. Deze ‘gewichtreserve’ laat de montage toe van verschillende bijkomende tools of sensoren.

In functie van de beoogde opdracht zullen verschillende soorten tools op de drone geplaatst worden. Bij bepaalde drone-modellen worden deze instrumenten op de drone gemonteerd zonder dat ze vervangen kunnen worden door de gebruiker. Dat is het geval voor tal van multicopters die bestemd zijn voor het grote publiek, waarbij de drone uitgerust is met een kleine vaste camera. De meeste drones die bestemd zijn voor het grote publiek, zijn ontworpen om licht te zijn om het transport te vergemakkelijken. Door het gewicht van de op de drone gemonteerde uitrusting te verminderen, kan ook de vluchtduur verlengd worden. Professionele drones daarentegen zijn vaak ontworpen als modulaire ‘gereedschapskoffers’ en de nuttige lading kan vrij benut worden om verschillende soorten – soms zelfs zeer zware – camera's en sensoren te transporteren. Dit vereist sterkere motoren met aangepaste batterijen, wat uiteindelijk dus resulteert in grotere drones.

### 3.2.1 FOTO- EN VIDEOGRAFIE MET EEN DRONE

De fotografie en de videografie blijven de taken die het vaakst uitgevoerd worden met drones. De drone zal dan met één of meerdere camera's <sup>(6)</sup> uitgerust worden om de omgeving vanuit de lucht in beeld te brengen. De fotografische uitrusting kan heel ver gaan, van een kleine zogenaamde ‘actiecamera’ tot professionele foto toestellen van duizenden euro's met verwisselbare lenzen. Eerst overlopen we de functies en eigenschappen van de onderdelen waaruit een camera opgebouwd is.

<sup>(4)</sup> Wordt in de omgangstaal vaak ‘joystick’ genoemd.

<sup>(5)</sup> In het Engels wordt doorgaans de term ‘payload’ gebruikt.

<sup>(6)</sup> In brede zin, inclusief foto toestellen.

### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

#### Basisprincipes

De **beeldsensor** is het lichtgevoelige element van een camera of foto toestel. Hij bestaat uit een aantal micro-elementen die het licht zullen vastleggen en het in elektrische informatie zullen vertalen door middel van het foto-elektrische effect. Het is het equivalent van de film bij analoge fotografie. Er bestaan twee grote families van beeldsensoren: de sensoren van het type CCD (*'Charge-Coupled Device'*) en deze van het type CMOS (*'Complementary Metal-Oxide Semiconductor'*). Momenteel wordt de markt van de elektronica gedomineerd door de CMOS-sensoren en we vinden ze terug in de meeste digitale foto toestellen en smartphones.

Een sensor wordt in de eerste plaats vaak gekenmerkt door zijn resolutie, namelijk het aantal pixels waaruit hij bestaat. Deze resolutie wordt uitgedrukt in **megapixel (MP)**. Hoe meer pixels de sensor heeft, hoe beter hij details zal kunnen overschrijven in het beeld dat gemaakt wordt. Veel sensoren hebben vandaag de dag een resolutie van meer dan 20 MP. De tweede eigenschap van de sensor is zijn formaat. Bij een identieke resolutie zal een grote sensor meestal een betere beeldkwaliteit bieden. Er bestaan een hele reeks standaardafmetingen voor sensoren, waarvan de volgende de meest courante zijn:

- de 'APS-C'-sensor, met een grootte van 22,2 x 14,8 mm of 23,6 x 15,7 mm afhankelijk van het merk
- de 'full-frame'-sensor, met een grootte van 36 x 24 mm
- de 'micro four thirds'-sensor (4/3"), met een grootte van 17,3 x 13 mm
- de 1"-sensor, met een grootte van 13,2 x 8,8 mm.

Bij een video blijkt de resolutie van de afbeeldingen heel wat lager te liggen. Zo is een 'full hd'-video, ook wel '1080p' genoemd, een aaneenschakeling van beelden van 1920 x 1080 pixels, ofwel slechts 2 megapixel. Een kleine sensor kan dus perfect geschikt zijn voor video's, maar veel minder voor fotografie. **Het aantal beelden dat per seconde gemaakt wordt** of FPS (*'Frames Per Second'*), vormt een andere belangrijke parameter die essentieel is voor de videografie. Dit aantal zal bepalen in welke mate men vloeiende beelden verkrijgt, maar het heeft ook een invloed op de mogelijkheid om beelden te vertragen, wat interessant kan zijn om de kwaliteit van promotionele opdrachten te verbeteren.

De **sluiter** is een systeem waarmee het mogelijk is om de sensor gedurende een bepaalde tijd (meestal zeer kort) aan licht bloot te stellen wanneer de gebruiker een foto maakt. **Men kan de sluitertijd, zijnde de belichtingstijd van de sensor, afregelen.** Hoe sneller de sluitertijd, hoe minder de sensor aan licht blootgesteld wordt. Een snelle sluitertijd is dus geschikt voor intense lichtomstandigheden. Hoewel ze oorspronkelijk mechanisch waren, zijn heel wat sluiters vandaag elektronisch. Eén daarvan is de 'rollende' sluitter (*rolling shutter*), die vaak gekoppeld wordt aan moderne CMOS-sensoren. Dit type sluitter kan echter vervormde beelden opleveren bij het maken van video's waarbij de gefilmde objecten in beweging zijn (zie afbeelding 13). Dit kan problematisch zijn, in het bijzonder voor fotogrammetrische studies. Bijgevolg maken de fabrikanten van camera's die bestemd zijn voor drones vaak melding van een zogenaamde 'globale' sluitter (*global shutter*), waarbij alle pixels in één keer vastgelegd worden.



Afb. 13 Effect van een elektronische sluitter wanneer het gefotografeerde beeld in beweging is ten opzichte van het punt van waar de foto genomen werd.

Een **fotografisch objectief** bestaat uit een aantal optische elementen, of lenzen, die gecombineerd worden zodat de realiteit vastgelegd wordt en het licht samenvalt op de sensor. **Afhankelijk van de gekozen optische elementen kan het fotografische objectief een grotere of kleinere beeldhoek vastleggen** (zie afbeelding 14, p. 21). Deze beeldhoek wordt uitgedrukt door de 'brandpuntsafstand' van het objectief, die uitgedrukt wordt in millimeter. Een objectief met een brandpuntsafstand van 24 mm wordt een 'groothoekobjectief' of 'objectief met korte brandpuntsafstand' genoemd, aangezien het een groot deel van het gezichtsveld zal kunnen weergeven. Een objectief van 200 mm daarentegen wordt een 'teleobjectief' genoemd. In die gevallen waarin een veiligheidsafstand in acht genomen moet worden ten opzichte van het gefotografeerde object (bv. bij windturbines), kan het verstandig zijn om voor een lange brandpuntsafstand te kiezen (meer dan 50 mm). Indien het daarentegen moeilijk is om afstand te nemen van het voorwerp, zal men de voorkeur geven aan een korte brandpuntsafstand. Hier moet opgemerkt worden dat het gezichtsveld ook bepaald wordt door het type sensor dat men gebruikt. Een groothoekobjectief zal bij een bepaalde brandpuntsafstand meer in beeld brengen met een 'full-frame'-sensor dan met een APS-C-sensor.



### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting



Afb. 14 Twee foto's van hetzelfde voorwerp die genomen werden met twee verschillende brandpuntsafstanden. A. Het teleobjectief maakt het mogelijk om de beeldhoek te focussen op de details van het voorwerp. B. Het groothoekobjectief maakt een breder gezichtsveld mogelijk.

Voor eenzelfde brandpuntsafstand zijn er verschillende modellen van objectieven op de markt, met een erg verschillend kwaliteitsniveau. Voor opmetingen met behulp van drones is het vaak de zuiverheid van het gemaakte beeld dat primeert. Het wazige achtergrondeffect, dat populair is bij de artistieke fotografie en mogelijk gemaakt wordt dankzij zogenaamde groothoekobjectieven, is in het algemeen van weinig nut voor technische studies die overdag uitgevoerd worden. Deze objectieven zijn bovendien aanzienlijk zwaarder dan die met een identieke brandpuntsafstand en een kleinere maximale opening.

Al decennialang vinden we tal van 'zoomobjectieven'. In tegenstelling tot de zogenaamde objectieven 'met vaste brandpuntsafstand', maken de zooms het mogelijk om de brandpuntsafstand te wijzigen binnen een duidelijk afgebakend gebied. Objectieven waarvan de brandpuntsafstand aangepast kan worden van 24 tot 70 mm of van 70 tot 200 mm zijn bijgevolg zeer courant. Voor de persoon die de drone bestuurt, biedt de zoomfunctie een ongeziene flexibiliteit voor inspectie- of controleopdrachten. Voor fotogrammetrische studies daarentegen is het gebruik van vaste brandpuntsafstanden aan te raden. Merk ook op dat sommige fototoestellen een digitale zoom aanbieden, wat leidt tot een slechtere beeldkwaliteit.

#### De ingebouwde camera

Er bestaan verschillende soorten camera's die gemonteerd kunnen worden op een drone (voor een vergelijking, zie tabel 3, p. 22). In de eerste plaats hebben we de **miniaturcamera's**. Hun grootste kwaliteit is hun beperkte gewicht. Deze minimalistische toestellen zijn meestal uitsluitend bedoeld om video's te maken. Hoewel de visuele kwaliteit soms te wensen overlaat, kunnen ze erg praktisch zijn om videobeelden te maken met een drone tegen een lagere kostprijs. Een aantal makkelijk hanteerbare kleine drones zijn trouwens ontworpen voor zogenaamde FPV-wedstrijden ('First Person View'), waarbij de afstandspiloot de videobeelden gebruikt om de drone te besturen alsof hij zelf in de cockpit zou zitten.

**Actiecamera's** zijn zwaarder maar ook performanter dan miniaturcamera's. Ze werden oorspronkelijk voor de sportwereld ontwikkeld om geplaatst te worden op een helm, een riem of zelfs een voertuig. Deze toestellen vertonen dus de kwaliteiten die vereist zijn om gemonteerd te worden aan boord van een drone: enerzijds robuustheid, door hun schokbestendigheid en bestendigheid tegen weersinvloeden, en anderzijds een ontwerp waarbij men het gewicht en de omvang maximaal wil beperken. Met camera's die nauwelijks groter zijn dan een luciferdoosje is het al mogelijk om video's in 4K te schieten. Foto's maken kan ook, maar deze hebben vaak een lage resolutie en beperkte kwaliteit.

Gewone fototoestellen kunnen ook op een drone gemonteerd worden, op voorwaarde dat de drone in staat is om ze in de lucht op te tillen. Er bestaan natuurlijk heel wat soorten fototoestellen. Eerst hebben we de **compacte toestellen** of compact-camera's, deze hebben een hanteerbaar gewicht maar ze beschikken niet over een verwisselbaar objectief. Hoewel de beeldkwaliteit voldoende is, wordt dit type toestel afgeraden voor fotogrammetrische opmetingen (zie § 4.2.1, p. 34) of voor professionele video's. Geïntegreerde objectieven beschikken daarentegen over een goede zoomfunctie die geschikt is voor

### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

Tabel 3 Soorten camera's die vaak voor drones gebruikt worden en hun standaardeigenschappen.

	Grootte van de sensor	Fotoresolutie	Videoresolutie	Instelmogelijkheden	Verwisselbare lenzen	Maximale optische zoom	Gewicht	Soorten opdrachten
<b>Miniatuurcamera</b>	1/4" 1/3.2"	1 – 5 MP	< 1080p	Zeer beperkt	Nee	1x	< 20 g	Vliegen met videofeedback, 'FPV'-vluchten
<b>Compacte sport- of actiecamera</b>	1/2.3"	5 – 12 MP	1080p (120 fps) 4K (60 fps)	Beperkt	Nee	1x	< 200 g	Standaard videografisch werk (quadcopter van minder dan 2 kg)
<b>In een drone geïntegreerde camera van hoogwaardige kwaliteit bestemd voor het grote publiek</b>			1080p (120 fps) 4K (60 fps)	Beperkt	Nee	1x <sup>(1)</sup>	< 100 g	Standaard videografisch en fotografisch werk (quadcopter van minder dan 2 kg)
<b>Compactcamera</b>	1/2.3" 1"	12 – 20 MP	1080p (60 fps) 4K (30 fps)	Beperkt tot goed	Nee	3 tot 10x <sup>(2)</sup>	< 500 g	Standaard fotografisch werk, algemene inspectie (hexacopter of octocopter < 5 kg)
<b>Bridgecamera</b>			1080p (60 fps) 4K (30 fps)	Gemiddeld tot goed	Nee	5 tot 20x <sup>(3)</sup>	< 1 kg	Standaard fotografisch werk, inspectie van fijne details (hexacopter of octocopter van minder dan 10 kg)
<b>Systeemcamera met 4/3"-sensor</b>	4/3"	15 – 50 MP	1080p (120 fps) 4K (30 fps)	Goed tot zeer goed	Ja	In functie van het objectief	< 1 kg (zonder objectief)	Geavanceerd fotografisch of videografisch werk, inspectie van fijne details (hexacopter of octocopter < 5 – 10 kg)
<b>Systeemcamera met sensor groter dan 4/3"</b>	APS-C Full-frame	24 – 50 MP	1080p (120 fps) 4K (30 fps)	Goed tot zeer goed	Ja		< 1 kg (zonder objectief)	Geavanceerd fotografisch of videografisch werk, inspectie van fijne details, gedetailleerde fotogrammetrie (hexacopter of octocopter < 5 – 10 kg)
<b>Reflexcamera</b>	APS-C Full-frame Midden-formaat	20 – 100 MP	1080p (120 fps) 4K (30 fps)	Goed tot zeer goed	Ja		< 2 kg (zonder objectief)	Geavanceerd fotografisch of videografisch werk, inspectie van fijne details, gedetailleerde fotogrammetrie (hexacopter of octocopter < 10 kg)
<b>Professionele drone-camera, verwijderbaar en met verwisselbare lens</b>	4/3" APS-C Full-frame Midden-formaat	15 – 100 MP	1080p (120 fps) 4K (60 fps) 6K (30 fps)	Goed tot zeer goed	Ja	In functie van het objectief	< 1 kg (zonder objectief)	Geavanceerd fotografisch of videografisch werk, inspectie van fijne details, gedetailleerde fotogrammetrie (hexacopter of octocopter < 5 kg)
<b>Professionele drone-camera, verwijderbaar en met vaste lens</b>	< 1"	< 5 MP	≤ 1080p	Gemiddeld	Nee	10 tot 30x	< 500 g	Inspectie van fijne details, toezicht (hexacopter of octocopter < 5 kg)

(1) Een aantal speciale modellen bieden een zoom aan met beperkt bereik (standaard 3x).

(2) Bepaalde apparaten gaan tot 30x.

(3) Bepaalde apparaten gaan tot 60x.



### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

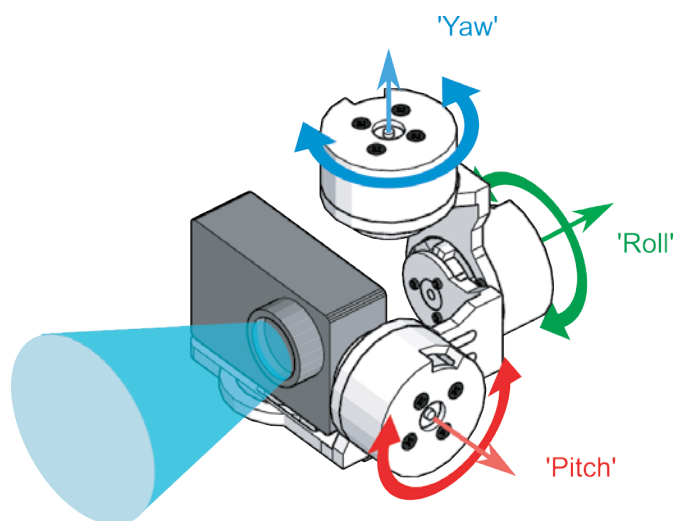
inspectieopdrachten. **Bridgetoestellen** zijn meestal iets kwalitatiever, maar ook zwaarder. **Reflexotoestellen** bieden een betere beeldkwaliteit, maar bevatten echter heel wat elementen die hun gewicht verhogen en niet echt noodzakelijk zijn voor de dronegebruiker (imposante optische zoeker met spiegel). **Systeemcamera's** krijgen in het merendeel van de gevallen de voorkeur, aangezien hun beeldkwaliteit meer en meer neigt naar die van een reflextoestel en ze een lager gewicht en kleinere afmetingen hebben. **Dit type toestel is uitermate polyvalent en zal ingezet kunnen worden voor heel wat opdrachten.** Ten slotte moeten we opmerken dat professionele filmcamera's zelden gebruikt zullen worden in de bouwsector, waar men vaak de voorkeur geeft aan een lichter materiaal. Meer en meer foto toestellen zijn immers in staat om in 4K te filmen met een goede beeldkwaliteit.

Naast deze algemene categorieën moet er enerzijds een onderscheid gemaakt worden tussen de standaardcamera's en -foto-toestellen, meer bepaald de modellen die niet specifiek ontworpen zijn voor drones, en anderzijds de modellen die specifiek ontwikkeld werden door dronefabrikanten of door fabrikanten die zich richten op de markt van drones. We zullen ze hier 'dronecamera's' noemen. We kunnen ze indelen in drie categorieën. Eerst zijn er de **dronecamera's die zich op het vlak van specificaties tussen de sportcamera's en compactcamera's bevinden.** Deze zijn doorgaans terug te vinden op de drones van hoogwaardige kwaliteit die bestemd zijn voor het grote publiek. Dit soort camera is in het merendeel van de gevallen niet verwijderbaar. Daarnaast hebben we de **dronecamera's van een zeer hoge kwaliteit met de typische fotografische eigenschappen van systeemcamera's** zonder de overbodige elementen. Ze behouden de voornaamste kwaliteiten: verwisselbare lenzen gekoppeld aan hoogkwalitatieve sensoren voor fotografie en videografie. Ten slotte zijn er een bepaalde camera's voor die zeer sterk kunnen inzoomen, in combinatie met een efficiënte sensor voor het maken van video's met een beperkt gewicht.

#### Gimbal en bediening van de camera

De *gimbal* (†) is het toestel dat de camera vasthoudt tijdens de vlucht, de stabiliteit ervan verzekerd en de overdracht van trillingen naar de camera beperkt. De bewegingen van een *gimbal* zijn eventueel vanop afstand controleerbaar. Het gaat uiteraard om een essentieel onderdeel en de beste systemen kunnen erg duur zijn. De prijs is afhankelijk van het gewicht van de camera die erop bevestigd moet worden, alsook van het aantal stabilisatieassen, het aantal controleerbare bewegingen en de precisie van ieder mechanisme.

De drie potentiële roterende assen van een *gimbal* worden aangeduid op afbeelding 15. Iedere actieve stabilisatieas en/of regelbare rotatieas wordt aangedreven door een motor, die gecontroleerd wordt door verfijnde elektronica. De elektronische controle-eenheid wordt soms gescheiden van de kern van de *gimbal* (GCU of 'Gimbal Control Unit'). De stabilisatie kan ontwor-



Bron: WTCB

Afb. 15 De drie mogelijke rotatieassen van een *gimbal* van een drone.

(†) De Engelse term 'gimbal' wordt vaak gebruikt. Bepaalde constructeurs spreken ook simpelweg van een 'stabilisator'.

### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

pen worden om uitsluitend schokken op te vangen, maar kan ook geperfectioneerd worden om de dronebewegingen op te vangen zodat men een zo recht mogelijk beeld bekomt. De meest betaalbare *gimbals* beperken zich vaak tot een regelbare beweging van het stampen ('*pitch*') met soms een stabilisatie van het rollen ('*roll*') en het gieren ('*yaw*') (zie afbeelding 16A). Er bestaan ook meer complete modellen, die beschikken over drie echte rotatieassen, waarmee professionele videografie mogelijk is (zie afbeelding 16B). **Voor de inspectie van een vast voorwerp zoals een gebouw, heeft de operator strikt genomen niet zo veel bewegingsruimte nodig. De kwaliteit van de stabilisatie en de mate waarin het stampen mogelijk gemaakt wordt zullen van groter belang zijn.**

Er bestaan specifieke fabrikanten voor *gimbals*, maar heel wat dronefabrikanten bieden hun eigen materiaal aan. In dat geval kan het gaan om een verwisselbare *gimbal* of één die stevig verankerd is aan de drone. Ook de camera kan verbonden zijn aan de *gimbal* of er gemakkelijk af te nemen zijn. **De positie van de *gimbal* op de drone is een andere parameter waarmee men rekening moet houden.** Wanneer een structuur aan de onderkant geïnspecteerd moet worden (bv. een brugdek), zal de *gimbal* immers bovenop de drone geplaatst moeten worden.

Kortom, op de markt zijn er heel wat producten te vinden en een dronegebruiker zal het ideale model moeten vinden in functie van de opdrachten die hij ermee wenst uit te voeren. Soms zal hij geen andere keuze hebben dan een oplossing op maat te bedenken door elementen die op de markt aanwezig zijn te combineren met meer artisanale toestellen.

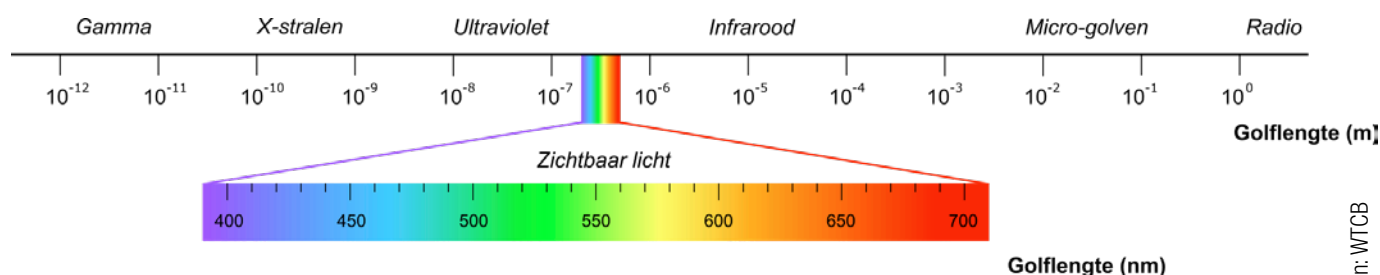


Afb. 16 Er is een grote verscheidenheid aan *gimbals* en aan hulpmiddelen die de camera 'dragen' en zorgen voor de stabiliteit ervan. A. *Gimbal* met geïntegreerde camera onder de drone. B. Professionele *gimbal* waarop een zeer zware filmcamera gemonteerd kan worden, die onder de drone bevestigd wordt.



#### 3.2.2 GEAVANCEERD BEELDFORMINGSMATERIAAL

Het zichtbare licht vormt slechts een fractie van het elektromagnetische spectrum (zie afbeelding 17). Hoewel de 'klassieke' camera's geschikt zijn voor heel wat opdrachten, kan het gebruik van specifiek materiaal vereist zijn voor meer uitvoerige inspectietaken.



Afb. 17 Het zichtbare licht is slechts een deel van het elektromagnetische spectrum.

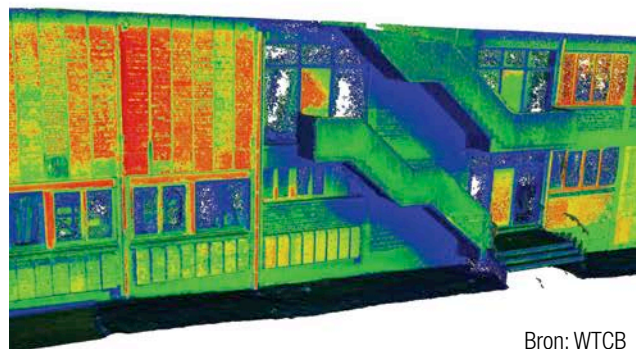
### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

**Thermografische camera's** zijn bijvoorbeeld erg nuttig voor de inspectie van gebouwen en installaties. Ze zorgen ervoor dat de temperatuurverschillen aan het oppervlak van de gefilmde voorwerpen zichtbaar worden. Dankzij de drone zal de expert toegang krijgen tot nieuwe thermografische beelden, met name van daken, of zal hij op minder gemakkelijk toegankelijke plaatsen kunnen werken.

Een **multispectrale camera** is een ander geavanceerd toestel waarmee, zoals de naam aangeeft, er verschillende beelden tegelijkertijd opgenomen kunnen worden op specifieke 'banden' van het lichtspectrum, namelijk het zichtbare, het infrarode en het ultraviolette licht. Deze camera is erg populair in de landbouw- en bosbouwsector en in de geologie (zie afbeelding 18). Het gebruik ervan voor het onderzoek van gebouwen zou alleen maar moeten toenemen in de loop van de komende jaren (zie afbeelding 19).



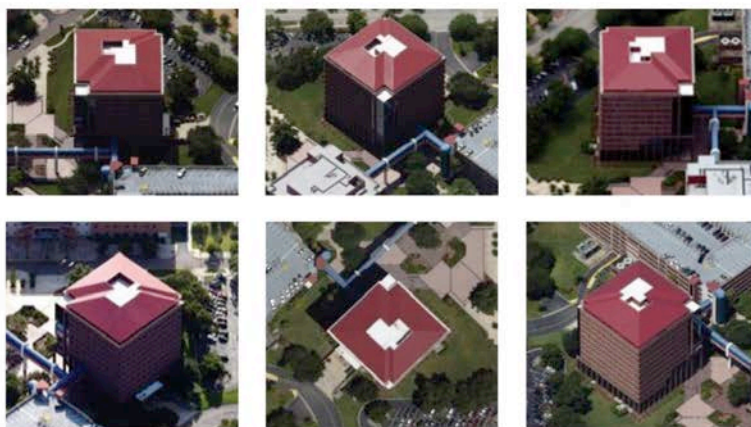
Afb. 18 Multispectrale camera die door de Katholieke Universiteit Leuven gemonteerd werd op een Y6-multicopter.



Afb. 19 Multispectrale analyse van een gevel: het zichtbaar maken van het gereflecteerde licht in de groene component.

In bepaalde gevallen kan de opdracht het gebruik vereisen van meerdere identieke camera's, die zo geplaatst worden dat ze tegelijkertijd verschillende gezichtshoeken in beeld brengen. In het Engels spreekt men van een 'multi-camera rig'. Deze opstelling wordt gebruikt voor fotogrammetrische opmetingen (zie § 4.2.1, p. 34) van grote gebieden door middel van hoogkwalitatieve fotoestellen (zie afbeelding 20). Er worden simultaan verschillende perspectieven gevormd van het te digitaliseren terrein, wat de kwaliteit van de digitale reconstructie ten goede komt. Deze complexe opstellingen van fotoestellen zijn bijzonder handig **om de vliegtijd te beperken wanneer de opmeting gebeurt met vliegtuigen of helikopters**. Verschillende perspectieven worden in één vlucht in beeld gebracht. Aangezien de drones er net voor zorgen dat de vluchtkosten beperkt kunnen worden, zal het gebruik van een dergelijke uitrusting minder relevant zijn.

Multicamera's worden eveneens gebruikt voor **de productie van virtual-realityvideo's in 360°**. In dit geval worden video's simultaan opgenomen in alle mogelijke richtingen en deze worden vervolgens digitaal samengevoegd. Een gebruiker die over een virtual-realitybril beschikt, zal als het ware in een bepaalde wereld ondergedompeld worden: door met het hoofd links en rechts of omhoog en omlaag te bewegen, zal hij de omgeving kunnen waarnemen vanuit verschillende perspectieven.



Afb. 20 Specifieke samenstelling van reflexcamera's om de fotogrammetrische opmeting te optimaliseren. Door zijn gewicht is dit type materiaal niet compatibel met een standaard multicopter.



### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

Verschillende constructeurs bieden ook de mogelijkheid aan om verschillende camera's tegelijkertijd op de drone te monteren. Hierdoor kan de kwaliteit van de beelden aanzienlijk verbeterd worden. Een thermische camera combineren met een traditionele camera is bijvoorbeeld erg handig voor de expert die de beelden zal moeten analyseren. Zonder de kleurenbeelden kan het erg moeilijk zijn om de gegevens uit het infraroodspectrum te interpreteren. We merken eveneens op dat indien de RGB-camera goed afgestemd is op de thermische camera, het eventueel mogelijk zal zijn om een 3D-model textuur te geven met behulp van thermische beelden die gegenereerd worden door fotogrammetrie. De combinatie van de toestellen maakt de drone polyvalenter, maar dit zal meer vermogen behoeven en de elektronische complexiteit zal hoger liggen.



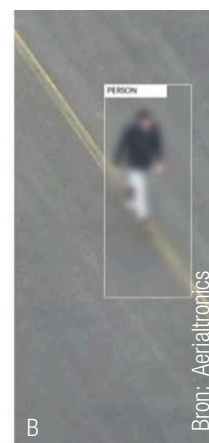
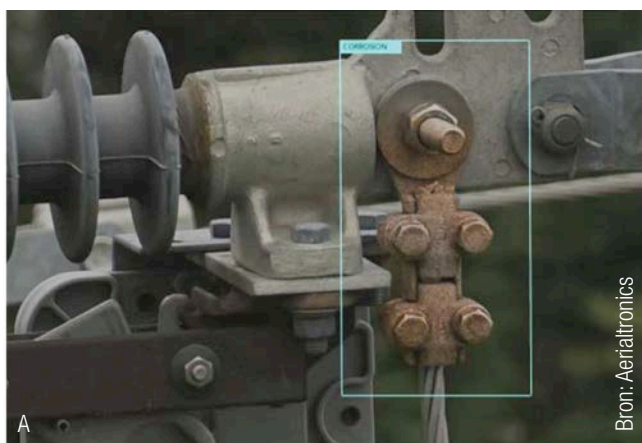
Afb. 21 Drone uitgerust met twee verschillende instrumenten: een camera met zoomfunctie en een thermische camera.

#### 3.2.3 BEWERKING VAN DE VASTGELEGDE BEELDEN

Wanneer de drone beelden registreert, zal er een reeks beelden of videosequenties opgenomen worden. Het kan erg handig zijn om deze bestanden digitaal te bewerken, meer bepaald door ze om te zetten en er nuttige gegevens uit te halen of om later gebruik ervan te vergemakkelijken. Een videosignaal dat van nature ononderbroken is, biedt tevens de mogelijkheid om de beelden in realtime te bewerken, terwijl de bewerking van foto's meestal in uitgesteld relais gebeurt na de vlucht.

##### Bewerking van het videosignaal

Vandaag bestaan er tal van algoritmen voor beeldanalyse die in realtime toegepast kunnen worden op een videosignaal. In de meeste gevallen zijn deze bewerkingen erop gericht om nuttige informatie uit het beeld te halen, zoals de eventuele aanwezigheid van interessante elementen binnen het gezichtsveld van de camera. Zo vinden we onder meer de functie 'gezichtsherkenning' terug op bepaalde drones die bestemd zijn voor het grote publiek. De opkomst van slimme camera's maakt het voor de bouwprofessional mogelijk om heel wat te automatiseren. In afbeelding 22A wordt bijvoorbeeld de automatische identificatie en opsporing van bepaalde pathologieën geïllustreerd. Afbeelding 22B toont een algoritme om menselijke aanwezigheid waar te nemen, wat nuttig kan zijn voor de bewaking van een werf.

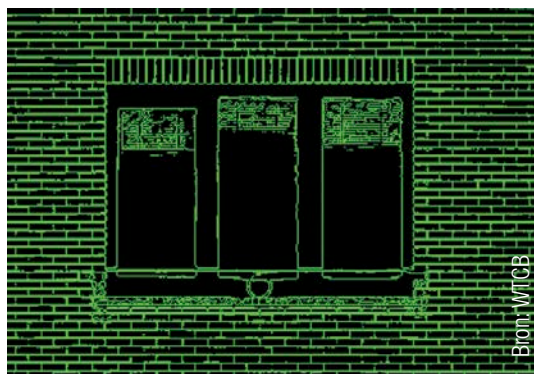


Afb. 22 Analyse in realtime van een video die de automatische identificatie van voorwerpen mogelijk maakt. A. Detectie van corrosie op metalen voorwerpen. B. Detectie van personen en het automatisch wazig maken van het beeld.

### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

#### Bewerking van beelden na opname

Naast de algoritmen voor de realtime-verwerking bestaat er een heel scala aan hulpmiddelen voor [de bewerking van foto's en video's na de vlucht](#). Men kan deze hulpmiddelen gebruiken om de algemene kwaliteit van beelden te verbeteren door de helderheid of het contrast te wijzigen. Het is eveneens mogelijk om de beelden voor te bereiden met het oog op een latere fotogrammetrische reconstructie door onder andere vervormingen te corrigeren die door een groothoekobjectief gecreëerd werden. Andere bewerkingen laten toe om fotografische elementen te accentueren of te verzachten (zie afbeelding 23) of er specifieke delen uit te halen. De beeldanalyse is een brede discipline die heel wat mogelijkheden biedt.



Afb. 23 Digitale bewerking van een foto van een gevel om de voegen van het metselwerk te benadrukken.

#### 3.2.4 ANDERE ACCESSOIRES EN SPECIFIEKE SENSOREN

Hoewel het merendeel van de opdrachten gebaseerd is op het gebruik van optische sensoren om beelden voort te brengen, kan een drone nog tal van andere toestellen aan boord hebben. Het kan gaan om detectoren van fysieke aard (bv. meten van het geluidsniveau), van chemische aard (bv. meten van vluchtige organische stoffen, meten van radioactiviteit, opvolgen van de weersvoorspelling) of van biologische aard (zie afbeelding 24). [Het nut van het aanbrengen van dergelijke sensoren op een drone zit hem in het feit dat de meting uitgebreid kan worden naar nieuwe zones of simpelweg dat de kostprijs verlaagd kan worden in vergelijking met de traditionele luchtvaartoplossingen](#). Het inzetten van een drone zal vaak veel minder logistiek vereisen in vergelijking met vliegtuigen of helikopters. Kleine quadcopters kunnen bijvoorbeeld peilingen uitvoeren op plaatsen waar dat vroeger onmogelijk, onrealistisch of gevaarlijk was geweest (ondergrondse complexen, vervuilde industriële sites ...).

Naast de aangebrachte hoofdsensor, kan de drone uitgerust worden met [hulpmiddelen waarmee men optimale opmetingen kan garanderen, zich kan aanpassen aan ongewone vliegomstandigheden of zelfs fysiek in interactie kan treden met de omringende voorwerpen](#). Eerst zijn er de [hulpmiddelen voor opmetingen](#): het gaat om sensoren en toestellen waarmee de gebruiker de metingen kan optimaliseren. Een vaste radar op het luchtvaartuig zorgt er bijvoorbeeld voor dat er informatie doorgegeven wordt over de afstand ten opzichte van hindernissen of gefilmde voorwerpen. Deze informatie kan cruciaal zijn om de nauwkeurigheid van de opmetingen te verbeteren. Een verlichtingstoestel dat aan de drone vastgemaakt wordt voor het uitvoeren van nachtelijke inspecties, is een ander voorbeeld van een hulpmiddel (zie afbeelding 25).



Afb. 24 Drone uitgerust met een 'sniffer' voor milieutoezicht.

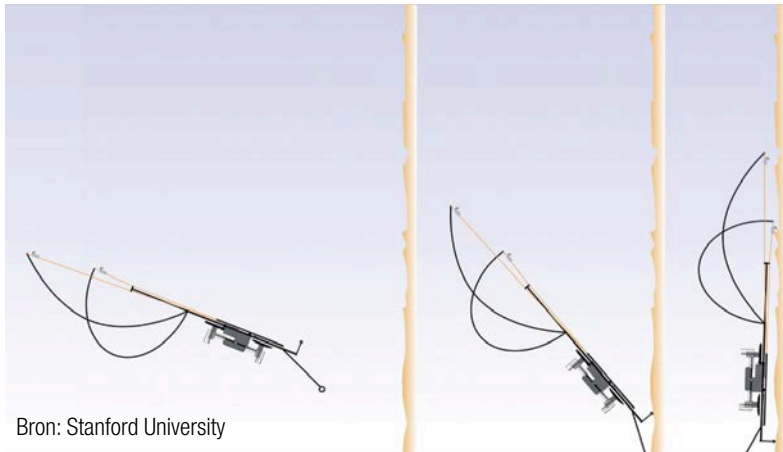


Afb. 25 Zeer krachtige verlichting om nachtelijke inspecties eenvoudiger te maken.

### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

Bijkomende bewegingsaccessoires kunnen ervoor zorgen dat de drone zich tijdelijk kan verplaatsen op een vast oppervlak of op water. De universiteit van Stanford heeft bijvoorbeeld een mechanisme ontwikkeld waarmee de drone zich kan vasthechten aan een muur en er zich verticaal op kan verplaatsen (zie afbeelding 26).

Veiligheidsaccessoires zijn elementen die ontworpen zijn voor de besturing van een drone, waarbij het risico op materiële schade of schade aan personen zo veel mogelijk beperkt wordt. Het meeste courante voorbeeld hiervan is het ‘schild’ rond de propellers. In zijn meest extreme vorm kan dit schild zelfs de hele drone omhullen en zo een beschermende bol vormen (zie afbeelding 27). In Frankrijk moeten drones van meer dan 2 kg die in woongebieden gebruikt worden met een noodparachute uitgerust worden; een ander voorbeeld van bijkomende veiligheidsvoorzieningen.



Bron: Stanford University

Afb. 26 Drone die ontwikkeld werd om verticale wanden op te lopen.



Bron: Flyability

Afb. 27 Beschermende bol waardoor het voor de drone mogelijk is om zich in afgesloten ruimten te verplaatsen.

## 3.3 UITRUSTINGEN OP DE GROND

### 3.3.1 AFSTANDSBEDIENING (OF ZENDER)

De meeste drones worden bestuurd met behulp van een zogenaamde 6-kanaalsafstandsbediening<sup>(\*)</sup> (of radiobesturing), die identiek is aan deze uit de modelbouwwereld. De standaardconfiguratie bestaat uit twee joysticks<sup>(\*)</sup> met twee assen die met de duimen bestuurd kunnen worden. Deze elementen zijn absoluut noodzakelijk om de bewegingen van een drone te controleren. De afstandsbediening kan ook een aantal knoppen of schakelaars hebben, alsook een lcd-scherm dat nuttig is voor de programmering van de zender (bv. voor de verbinding tussen de drone en de afstandsbediening) of om bepaalde vliegparameters weer te geven (telemetrie, zie § 3.1.3, p. 18). Het aantal knoppen, schakelaars of cursors varieert in functie van het model van de afstandsbediening.

Eén van de essentiële parameters waarmee men rekening moet houden bij de keuze van een afstandsbediening is de ‘werkingsmodus’, zijnde de wijze waarop de bewegingen van de drone beïnvloed worden door iedere as van de joystick. De meeste piloten kiezen voor de configuratie in ‘mode 2’, waarbij de linker stick gebruikt wordt voor de verticale beweging (‘elevation’) en het gieren (‘yaw’), en de rechter stick voor de horizontale rol- en stampbewegingen (‘roll’ en ‘pitch’) (zie afbeelding 28). De personalisatie van de afstandsbediening biedt evenwel een grote vrijheid.

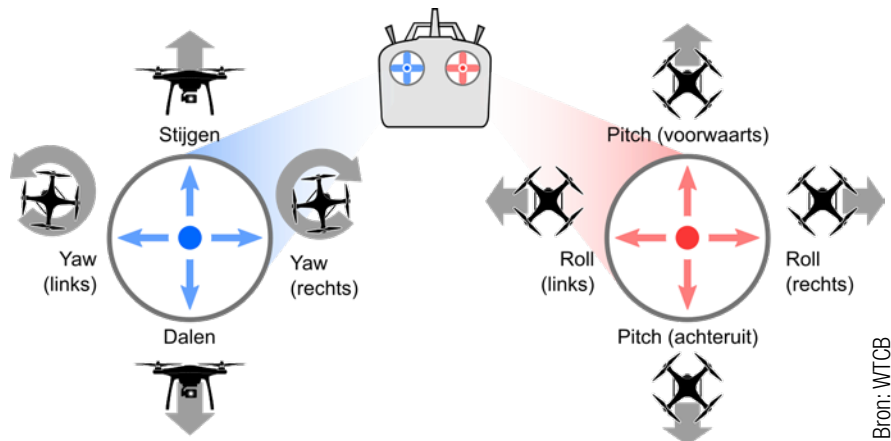
Het merendeel van de moderne afstandsbedieningen gebruiken de bandbreedte 2,4 GHz. Op deze frequentie moet het zendvermogen beperkt worden tot 100 mW, op straffe van zware boetes voor zij die zich hier niet aan houden. Bij een dergelijk vermogen is een communicatiebereik van meer dan één kilometer mogelijk [E1]. Aangezien vliegen met grondzicht verplicht wordt door de Belgische wetgeving, is deze frequentie zonder twijfel voldoende voor het merendeel van de opdrachten.

(\*) ‘Transmitter’ in het Engels.

(\*) Soms gewoonweg ‘sticks’ genoemd.



### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting



Afb. 28 Afstandsbediening voor de besturing van de drone met de meest gebruikte instelling van de joystick, 'mode 2'.

#### 3.3.2 VIDEOFEEDBACK

Tijdens een opdracht is het vaak handig voor de piloot om te beschikken over **videofeedback** van de camera aan boord van de drone. Concreet betekent dit dat de piloot **beelden in realtime ontvangt op een controlescherm** (zie afbeelding 29). Dit zorgt enerzijds voor dat het goede verloop van de vlucht verzekerd kan worden aangezien men potentiële obstakels van dichtbij kan zien, en anderzijds dat de te fotograferen of te filmen elementen beter in beeld gebracht worden. **De kwaliteit van videozenders en -ontvangers kan erg verschillen** en de investering die de dronegebruiker doet, zal afhangen van de eventuele noodzaak om over een heel goede live beeldkwaliteit te beschikken. Een inspectieopdracht waarbij snel een beslissing genomen moet kunnen worden bijvoorbeeld, zou een dergelijke investering kunnen rechtvaardigen.

Voor opdrachten waarbij de opname het essentiële onderdeel is, **kan het interessant zijn om een beroep te doen op een cameraman die zich specifiek kan toeleggen op de beelden**. Hij zal vanop afstand bijvoorbeeld de bewegingen van de *gimbal* kunnen afregelen of zal hij kunnen inzoomen op een specifiek voorwerp. De afstandspiloot hoeft zich dan enkel bezig te houden met de bewegingen van de drone. Een goede coördinatie tussen beiden is van cruciaal belang. Dergelijke systemen met een zogenaamde 'dubbele besturing' zijn evenwel voorbehouden voor de meest professionele drones. Een andere mogelijkheid om de beeldopname te optimaliseren, is het op voorhand programmeren van de dronevlucht. **De afstandspiloot moet evenwel op elk mogelijk moment de controle over de drone kunnen overnemen en mag hem nooit uit het zicht verliezen.**



Afb. 29 Afstandsbediening met feedbackscherm om de kwaliteit van de beeldopname te verbeteren.

### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

#### 3.4 BESTURING VANOP AFSTAND EN AUTOMATISCHE VLUCHT

Drones kunnen op heel wat manieren bestuurd worden, gaande van manuele besturing vanop afstand tot een volledig autonome vlucht. *We spreken pas over volledig autonome systemen als de drone zijn vlucht voortdurend kan aanpassen, in functie van de opdracht waarvoor hij gebruikt wordt en van plaatsbepalingsgegevens die in realtime verzameld worden.* Hoewel dergelijke systemen nog zeldzaam zijn, beschikken heel wat drones over een tussenliggend niveau van automatisering. Of het nu manueel, geautomatiseerd of volledig autonoom is, de besturing volgt steeds het volgende schema:

1. de huidige situatie (positie, richting, snelheid) van de drone wordt geanalyseerd
2. de instructies worden doorgegeven aan de aandrijvende onderdelen van de drone in functie van de positiewijziging of de gewenste beweging
3. de instructies resulteren in een wijziging van beweging/positie van de drone in de lucht
4. analyse van de overeenstemming tussen de werkelijke beweging/positie en de gewenste beweging/positie
5. de instructies worden in functie hiervan gewijzigd.

De eerste soort besturing is de *volledig manuele besturing* binnen de zichtlijn (VLOS – *Visual Line of Sight*). In dit geval is het de afstandspiloot die de instructies continu doorgeeft door middel van de afstandsbediening en die de drone voortdurend in het zicht houdt. Terwijl de afstandspiloot de bewegingen van het toestel gadeslaat, zal hij voortdurend de druk op de joysticks die de richting aanwijzen aanpassen om niet af te wijken van het vluchtplan dat hij in gedachten heeft. De afstandspiloot krijgt hierbij geen enkele hulp en om de drone stabiel te houden, moet hij zich permanent kunnen aanpassen aan de omstandigheden, vooral bij wind. De drone op een vaste positie in de lucht laten hangen vraagt heel wat besturingsvaardigheden. Een variëteit op het vanop afstand bestuurd vliegen op zicht is het besturen van de drone op basis van de realtime camerafeed-back. Het gaat om de zogenaamde FPV-besturing (*First Person View*), die vaak voorkomt bij de acrobatisch disciplines.

We vinden ook tal van zogenaamde ‘slimme’ vliegmodi. De eerste categorie is de *automatische assistentie*. Deze functies zijn bedoeld om de afstandspiloot, die de voornaamste bewegingen van het toestel controleert, bij te staan. De meest wijdverspreide automatische functie is het behoud van de vlieghoogte (*‘ATTI’-mode*). Met behulp van de hoogtemeter en bij het ontbreken van een signaal van de piloot om een verticale beweging in te zetten, zal de drone voortdurend de draaisnelheid van de rotors aanpassen om een constante vlieghoogte te behouden. Dit toestel zorgt ervoor dat de afstandspiloot niet voortdurend minuscule correcties moet uitvoeren om zijn drone op hoogte te houden. Het behoud van de positie door middel van gps vervolledigt vaak de functie voor het behoud van de vlieghoogte. Een andere automatische functie die meer en meer ingeburgerd raakt, is het ontwijken van hindernissen. De drone wordt in dit geval uitgerust met nabijheidssensoren.

Het *automatisch manoeuvreren* gaat nog een stap verder. In dit geval zal de drone een voorgeprogrammeerd manoeuvre uitvoeren. Het kan bijvoorbeeld gaan om eenvoudige luchtbewegingen (cirkels, heen- en terugvliegen ...). De bekendste automatische functie is *‘Return To Home’* (of *‘Auto Return Mode’*): bij signaalverlies of bij het indrukken van een knop door de afstandspiloot, zal de drone terugkeren naar een specifieke gps-positie, die op voorhand door de gebruiker werd ingesteld en meestal overeenstemt met de opstijgplaats. De aanwezigheid van een gps-positioneringssysteem is bovendien nodig om het merendeel van de functies mogelijk te maken. De drone zou, zonder zijn positie te kennen, zijn traject immers niet kunnen corrigeren.



### 3. Anatomie van een elektrische multicopter en de bijhorende uitrusting

in functie van de wind bijvoorbeeld. Automatisch vliegen bestaat uit een volledige voorprogrammering van een vluchtsequentie met behulp van gps-punten (zie afbeelding 30). Dit is een uiterst handige vliegmodus voor professionals waarmee de gewenste zone op een optimale manier gedekt wordt. De ontspanner van het fototoestel of de activatie van een andere uitrusting aan boord kan tevens geprogrammeerd worden.

Het **autonome manoeuvre** en de **autonome vlucht** gaan nog een stap verder. Met deze functies kan men de plaats van de afstandspiloot innemen om manoeuvres of vluchtsequenties uit te voeren, waarbij de drone zich in realtime moet aanpassen aan complexe externe omstandigheden. Een goed voorbeeld hiervan is de functie *'Follow Me'*. Zodra de functie geactiveerd is, zal de drone de verplaatsingen van een bepaalde persoon of een bepaald voorwerp <sup>(10)</sup> volgen door gebruik te maken van algoritmen voor beeldherkenning. **De plaatsen waarlangs gevlogen wordt, zijn niet op voorhand bekend en de drone geeft blijk van een zeker aanpassingsvermogen.**

Deze categorieën geven een algemeen overzicht van de beschikbare technologieën. In werkelijkheid kan het onderscheid tussen deze slimme modi minder eenvoudig blijken te zijn.



Afb. 30 Programmatie van de vlucht door middel van gps-punten.

(10) Functie die bijvoorbeeld gebruikt wordt om sportdisciplines in beeld te brengen.

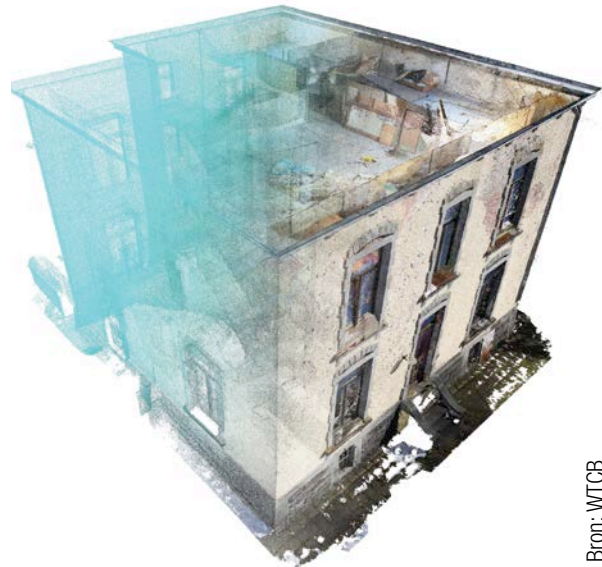


# 4. DOOR DRONES GECREËERDE 3D-MODELLEN

## 4.1 INLEIDING

De technologieën voor geometrische opmetingen zijn enorm geëvolueerd in de loop van de voorbije jaren. Ze maken het mogelijk om bestaande voorwerpen automatisch te digitaliseren en ze in zeer hoge resolutie weer te geven (reproductie van fijne details en kleuren, zie afbeelding 31). Het modelleren is erg vereenvoudigd; soms is het zelfs niet eens meer nodig.

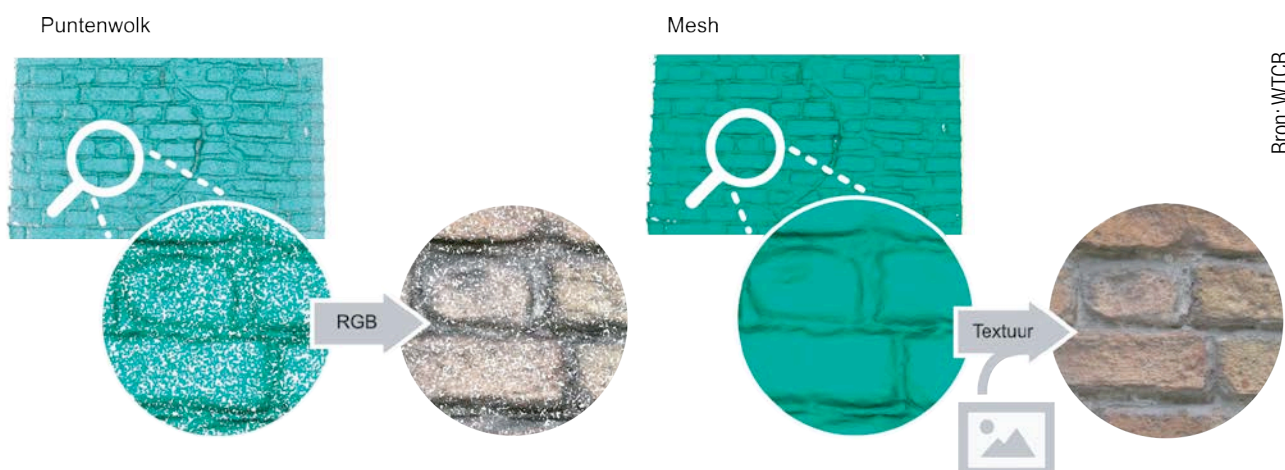
Men kan twee grote soorten technieken onderscheiden voor 3D-opmetingen in hoge resolutie die gebruikt kunnen worden in combinatie met een drone: de techniek van 3D-scannen als dusdanig, waarbij de geometrie van een voorwerp of gebouw in realtime opgemeten wordt door erg performante systemen zoals laserscanners, en de technieken van fotogrammetrische reconstructie waarbij de geometrie van het voorwerp achteraf via een softwareprogramma bepaald wordt op basis van foto's. De geïnteresseerde lezer kan een overzicht van de recente evoluties ter zake terugvinden in de WTCB-monografie '3D-opmetingen in het BIM-tijdperk. Vastleggen van de realiteit in hoge resolutie' [D2].



Bron: WTCB

Afb. 31 Een 3D-scan met behulp van fotogrammetrie.

Een **puntenwolk** is een soort bestand dat vaak verkregen wordt als men een beroep doet op een 3D-opmetingsmethode in hoge resolutie. De gescande voorwerpen worden dan gereproduceerd in de vorm van meerdere punten die in de ruimte geplaatst worden en dicht genoeg bij elkaar staan zodat men zeer fijne details kan waarnemen. Een ander courant type van een onbewerkt 3D-bestand is de 'triangle mesh' (of driehoeksraster). Het voorwerp wordt dan weergegeven door middel van een geheel van met elkaar verbonden driehoekige vlakken. Gezien de zeer verschillende aard van deze twee soorten modellen, zal de kleurinformatie op twee verschillende manieren gecodeerd worden. Bij een puntenwolk wordt een kleur (een RGB-code) toegekend aan ieder punt waaruit het model opgebouwd is. Bij een 'mesh' moet het oppervlak van ieder driehoekig vlak ingekleurd worden, hetgeen gebeurt op basis van een textuur. De textuur bestaat uit een afbeelding die op het model geplakt wordt. Afbeelding 32 toont het onderscheid tussen deze twee gangbare soorten onbewerkte 3D-bestanden afkomstig van hd-opmetingen.



Afb. 32 De technieken voor geometrische opmetingen in hoge resolutie brengen onbewerkte 3D-bestanden voort in de vorm van een puntenwolk of in de vorm van een 'mesh'.

## 4. Door drones gecreëerde 3D-modellen

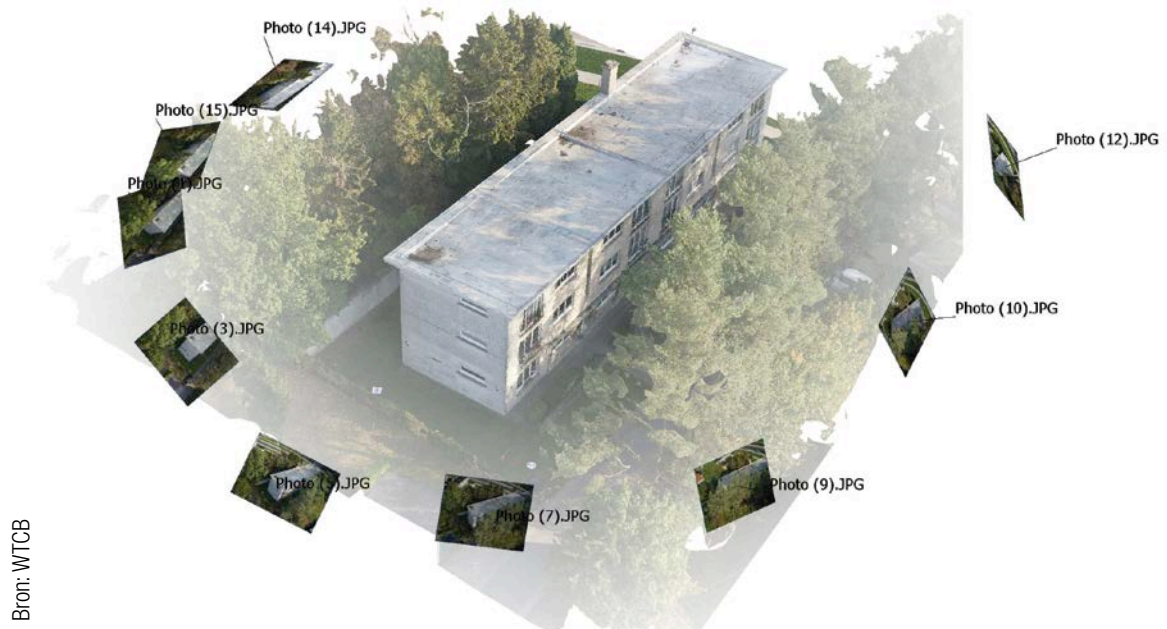
Hoewel geometrische opmetingen nog steeds het vaakst vanop de grond gebeuren, zijn de enorme mogelijkheden die een scan vanuit de lucht zou bieden gemakkelijk in te beelden. In de volgende paragrafen wordt beschreven hoe drones gebruikt worden om de grenzen van de technologie van 3D-digitalisering in hoge resolutie nog verder te verleggen.

### 4.2 TECHNOLOGIEËN VOOR 3D-DIGITALISERING WAARVOOR EEN DRONE GEBRUIKT KAN WORDEN

#### 4.2.1 3D-RECONSTRUCTIE DOOR MIDDEL VAN BEELDCORRELATIE

##### Principe

Met de methode voor 3D-reconstructie door middel van de correlatie van meerdere afbeeldingen <sup>(1)</sup>, wordt een echt voorwerp door middel van een softwareprogramma driedimensionaal gereconstrueerd op basis van foto's van dit voorwerp, genomen vanuit verschillende perspectieven (zie afbeelding 33). Het gaat om een moderne fotogrammetrische methode die mogelijk gemaakt wordt door de toegenomen reken capaciteit van de computer. Het principe van dit soort algoritme is gebaseerd op de identificatie van homologe punten van overeenkomst tussen de verschillende afbeeldingen, om te 'begrijpen' hoe het gefotografeerde voorwerp de ruimte inneemt <sup>(2)</sup>.



Afb. 33 Principe van fotogrammetrie met een drone.

De opeenvolgende afbeeldingen van het voorwerp moeten dus voldoende gelijkenis vertonen zodat het algoritme homologe punten zou kunnen vinden. Met andere woorden het fotoestel mag tussen iedere foto slechts beperkt verplaatst worden. In de praktijk worden alle foto's in een specifiek softwareprogramma geïmporteerd dat, na een rekenfase, een 3D-model genereert waarvan de nauwkeurigheid zal afhangen van het aantal en de kwaliteit van de foto's. Deze techniek is wereldwijd verspreid in de wereld van de traditionele luchtfotokartering (met vliegtuigen), waarbij terreinmodellen uitgewerkt worden op basis van foto's die verticaal of enigszins schuin ten opzichte van de verticale lijn genomen worden. De mogelijkheden worden alleen maar uitgebreid door het gebruik van drones, omdat de drones in staat zijn om stationair te vliegen en omdat ze uitgerust zijn met een *gimbal* die nauwkeurig bediend kan worden.

<sup>(1)</sup> Soms wordt er simpelweg gesproken van '3D fotogrammetrie'.

<sup>(2)</sup> Een gedetailleerde beschrijving van deze methode en deze principes kan men vinden in de [WTCB-monografie \[D2\]](#).



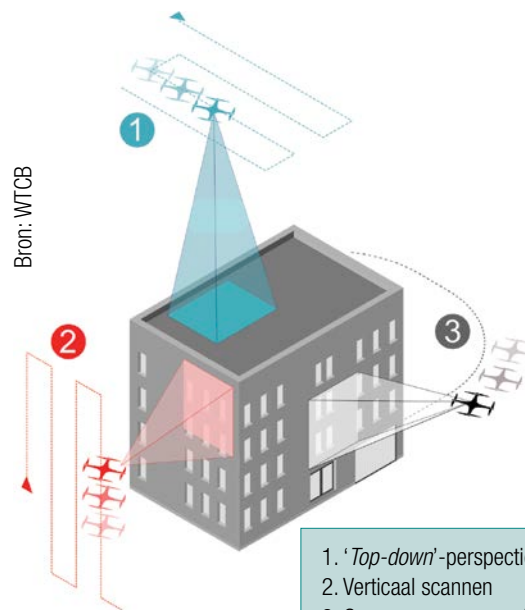
### Gebruik van drones

De opkomst van drones waarop een gestabiliseerde camera gemonteerd kan worden en waarmee stationair gevlogen kan worden, heeft ervoor gezorgd dat de perspectieven afgewisseld kunnen waardoor het bereik van de 3D-fotogrammetrie uitgebreid wordt. Op deze manier kunnen er bijvoorbeeld gemakkelijk 3D-modellen gemaakt worden van volledige gebouwen. Drones vullen in zekere zin de leemte op tussen de 3D-reconstructie op basis van foto's vanop de grond en de traditionele luchtfotogrammetrie. De volledigheid van de gegenereerde modellen wordt verzekerd door de veelheid aan mogelijke invalshoeken vanuit de lucht, terwijl er gaten konden worden opgemerkt in de puntenwolken die uitsluitend opgebouwd werden op basis van foto's genomen vanop de grond (zie afbeelding 34). Deze methode wordt soms ook simpelweg 'fotogrammetrie met drones' genoemd wordt.

Dit doet vragen rijzen over de opnamemethodes met een drone. Dankzij de vanop afstand bedienbare gimbals (zie § 3.2.1, p. 19), kan een gebouw vanuit heel wat perspectieven gefotografeerd worden (zie afbeelding 35). Bij luchtfotografie is de verticale opname, ook 'NADIR' genoemd, het meest gangbaar. Deze methode wordt vaak gebruikt in de topografie en in de cartografie. Hoewel dergelijke perspectieven normaal gezien voldoende zijn om terreinmodellen te creëren, zullen ze ontoereikend zijn om verticale elementen, zoals gevels van gebouwen, adequaat te reconstrueren. Het geheim van een kwalitatieve fotogrammetrische reconstructie zit dus in de juiste combinatie van verticale, zijdelingse en horizontale opnames (zie afbeelding 36). Het doel is om de weergave van de elementen in alle dimensies te optimaliseren, zodat de reconstructiesoftware de mogelijkheid heeft om de gelijkenissen tussen de verschillende beelden te identificeren.



Afb. 34 Nadeel van fotogrammetrie op basis van foto's genomen vanop de grond: de zones die niet goed zichtbaar zijn op de foto's (daken, balkons ...) zullen resulteren in 'gaten' in de gereconstrueerde 3D-modellen.



1. 'Top-down'-perspectief of NADIR
2. Verticaal scannen
3. Scannen van een perimeter

Afb. 35 De methoden die gebruikt worden voor het nemen van foto's met een drone, beïnvloeden de kwaliteit van het verkregen model.



Afb. 36 Twee zeer uiteenlopende 3D-reconstructies op basis van het gevolgde opnameprotocol. A. Alleen NADIR-foto's. B. Combinatie van NADIR-foto's en schuine foto's.

## 4. Door drones gecreëerde 3D-modellen

### Softwareprogramma's

Als men de methode van fotogrammetrische reconstructie door beeldcorrelatie wil gebruiken, moet men de **juiste softwareprogramma's kiezen en begrijpen hoe ze gebruikt worden**. Er bestaan tal van softwareprogramma's en het is niet altijd makkelijk om de meest geschikte oplossing te kiezen voor iemand die zijn eerste stappen wil zetten in fotogrammetrie met behulp van een drone.

Bij de beschikbare softwareprogramma's **kunnen we eerst een onderscheid maken tussen de oplossingen die specifiek bedoeld zijn voor het gebruik van drones en de algemenere tools**. Zo bieden sommige programma's een aantal hulpmiddelen aan voor het maken van luchtbeelden en de gebruiker zal zelfs een vlucht kunnen voorprogrammeren. Soms gaan de mogelijkheden voor de automatisatie van de opnames erg ver. De te digitaliseren gebouwen kunnen bijvoorbeeld beknopt in 3D getekend worden op een kaart, en de software zal vervolgens een gepast vliegtraject voorstellen in functie van de gewenste overlap tussen de beelden (zie afbeelding 37).

We kunnen ook **een onderscheid maken tussen enerzijds de softwareprogramma's waarbij de berekening van de 3D-reconstructie lokaal gebeurt op de computer van de gebruiker, en anderzijds de programma's die gebruik maken van cloud computing**. Bij deze laatste methode worden de berekeningen uitgevoerd op een externe server, die meestal toebehoort aan het bedrijf dat de software ontwikkeld heeft, voordat het afgewerkte 3D-model naar de gebruiker verstuurd wordt. Hoewel dit aanzienlijke tijdswinst kan opleveren voor de berekening, zal men soms de controle verliezen over de manier waarop het model gegenereerd wordt. Dat is met name het geval bij programma's die bestemd zijn voor het grote publiek.

Hoewel er gratis of 'open-source-software' bestaat voor 3D-reconstructie, hebben het merendeel van de beschikbare softwareprogramma's vaak een hoge aankoopprijs of vereisen ze een maandelijks abonnement. **Daarom moeten zowel de kwaliteit van de 3D-reconstructie als de aangeboden functies geanalyseerd worden om de meest rendabele oplossing voor de dronegebruiker te bepalen**.



Bron: Drone Harmony

Afb. 37 Gevorderde automatisering van opnames.

### Ruimtelijke referentie van de opmetingen

Ieder 3D-model dat door middel van fotogrammetrie gecreëerd werd, moet **georiënteerd, gepositioneerd en opgeschaald worden** [D2]. Een foto bevat op zich namelijk geen informatie over de omvang van de gefotografeerde voorwerpen. Wanneer de foto's vanop de grond genomen worden, zal men zich doorgaans op de **referentiepunten of controlepunten op de grond (GCP of 'Ground Control Points')** baseren. De werkelijke coördinaten van deze punten worden op de bouwplaats voorgesteld door middel van 'richtpunten,' die op verschillende sleutelposities aangebracht worden en opgemeten worden met behulp van een 'total station'. Vervolgens worden de gemeten coördinaten gecodeerd in het softwareprogramma voor fotogrammetrische

reconstructie en de posities van de richtpunten worden op de verschillende foto's aangeduid. Deze laatste fase kan soms automatisch gebeuren als de richtpunten een specifiek patroon hebben dat herkend wordt door de software.

Bij 3D-fotogrammetrie met drones beschikt men over waardevolle informatie: namelijk de positie van de drone op ieder moment dat er een foto genomen werd. Alle professionele drones zijn immers uitgerust met een gps-systeem. **Indien de ontspanner van het fototoestel gekoppeld kan worden aan de gps-meting, kan men de beelden gaan 'geotaggen'**. Ieder beeldbestand zal dan gekoppeld worden aan geografische gegevens, die door de software gebruikt kunnen worden om het model te oriënteren. **De gps-sensoren die doorgaans op een drone zitten, hebben evenwel slechts een nauwkeurigheid tot op ongeveer één meter.**

Er bestaan twee oplossingen om de kwaliteit van de oriëntatie te verbeteren of om de juistheid van het met fotogrammetrie gegenereerde 3D-bestand te valideren. De eerste oplossing is om zich te baseren op de traditionele referentiemethode: de dronegebruiker kan horizontaal (op de grond, op platte daken, etc.) en/of verticaal (op gevels, muren, afhankelijk van het type opdracht) geplaatste richtpunten gebruiken, waarvan hij de locatie nauwkeurig zal moeten opmeten (zie afbeelding 38A). **Als alternatief kan de drone uitgerust worden met een elektronisch systeem dat de positiebepaling verbetert van de gps aan boord van de drone.** Het kan gaan om een RTK-module (*'Real Time Kinematic'*), waarmee het signaal van een referentiestation opgepikt kan worden om voor een positiebepaling te zorgen die tot op de centimeter nauwkeurig is. De PPK-technologie (*'Post-Processed Kinematic'*) is erg gelijkaardig, maar flexibeler. Deze zorgt ervoor dat de locatiegegevens achteraf gecorrigeerd kunnen worden. Het grootste nadeel van deze systemen is hun kostprijs. Het kan bovendien moeilijk blijken om een RTK- of een PPK-systeem te integreren in een drone die hier niet op voorzien is.

**Hoewel het gebruik van richtpunten de aanbevolen oplossing is in de meeste gevallen, kan ze soms niet tot het verwachte resultaat leiden.** Wanneer men een bouwplaats bijvoorbeeld op regelmatige tijdstippen moet opmeten en het risico bestaat dat de richtpunten verplaatst of beschadigd worden tussen twee opeenvolgende opmetingen (onvrijwillig lostrekken, aantasting door zout en stof ...), zullen alle richtpunten iedere keer opnieuw uitgemeten moeten worden bij iedere fotogrammetrische opmeting. De kostprijs van deze bijkomende metingen kan soms heel erg oplopen. In dat geval kan het interessanter zijn om voor een RTK-/PPK-systeem te gaan of voor 'intelligente' richtpunten met een geïntegreerd intern geolokalisatiesysteem (zie afbeelding 38B).

**3D-opmetingen met een drone worden bijgevolg een complexe discipline zodra men de nauwkeurigheid van de opmeting wenst te verhogen. In feite zou de persoon die aangesteld is voor de uitvoering van een opdracht die zeer nauwkeurige metingen vereist, kennis moeten hebben op het vlak van topografie of op zijn minst een beroep moeten doen op een landmeter.**



Afb. 38 Ruimtelijke referentie van opmetingen. A. Manuele verzameling van gps-punten. B. Een 'slim' richtpunt.



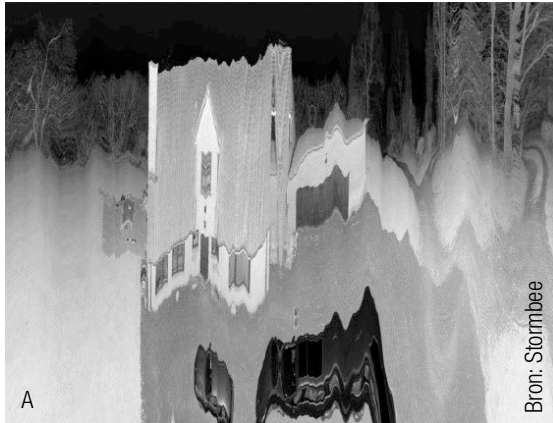
## 4. Door drones gecreëerde 3D-modellen

### 4.2.2 LASERSCANNING VANUIT DE LUCHT

Het nut van een laserscanner op de werf staat vandaag de dag buiten kijf. Het is echter een hele uitdaging om een dergelijk toestel in de lucht te krijgen en om nauwkeurige gegevens te genereren. **Het gaat in de eerste plaats om zeer zware en dure toestellen.** Er moet dus voor een drone gekozen worden die in staat is om de scanner veilig te verplaatsen, om ervoor te zorgen dat zowel de personen waarboven gevlogen wordt als de apparatuur aan boord van de drone beschermd worden. Zelfs als de drone de scanner kan optillen, moet hij ook nog over voldoende vliegautonomie beschikken om de opdracht tot een goed einde te brengen. Een ander groot probleem heeft rechtstreeks betrekking op de opmeting. **Laserscanners voor gebruik vanop de grond zijn immers zo ontworpen dat ze stilstaan gedurende volledige duurtijd van de scan, gemiddeld zo een 5 tot 30 minuten.** Het is natuurlijk onmogelijk om een drone perfect stabiel te houden in de lucht en de meting zal dus gecorrigeerd moeten worden in functie van de bewegingen van de drone. Bepaalde onderzoekers en bedrijven hebben zich toegelegd op laserscanning vanuit de lucht (zie afbeelding 39). Het principe bestaat erin om **3D-metingen te corrigeren op basis van een zeer nauwkeurige inschatting van de positie en de bewegingen van het toestel** (zie afbeelding 40). Met een dergelijk toestel moet er geen enkel richtpunt op de site of het gebouw in kwestie aangebracht worden om het model te oriënteren. Dit kan een groot voordeel zijn voor de gebruiker, voornamelijk bij complexe of gevaarlijke sites.



Afb. 39 Een Belgische drone die laserscanning vanuit de lucht mogelijk maakt.



Afb. 40 Het gebruik van een laserscanner die gemonteerd is op een voorwerp in beweging vereist een correctie van de metingen. A. Resultaat van de opmeting met de laserscanner zonder correctie. B. Zelfde scan na correctie.

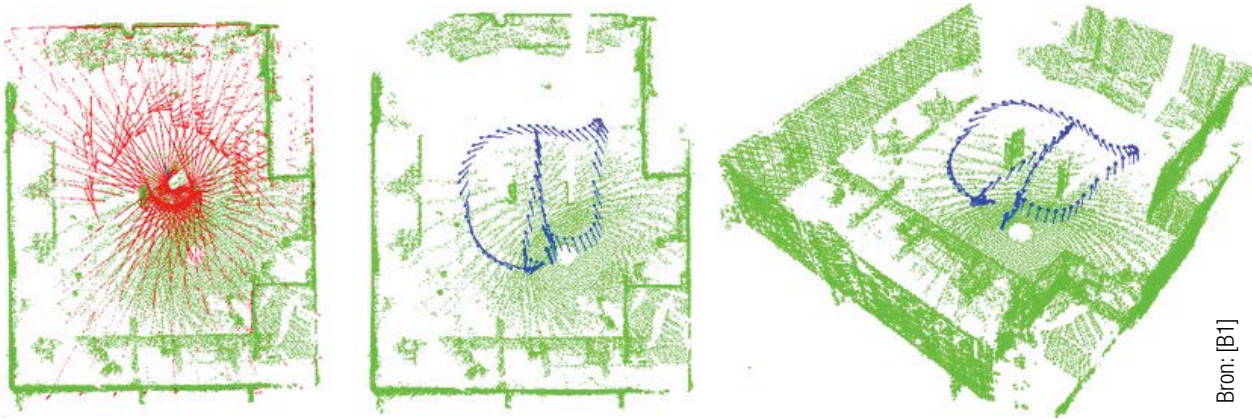
### 4.2.3 SIMULTANE LOKALISATIE EN CARTOGRAFIE ZONDER GPS

Met behulp van de ‘echte’ technologieën voor 3D-scanning<sup>(13)</sup> is de drone in staat om de omliggende voorwerpen op een continue manier te reconstrueren. Op basis daarvan hebben de onderzoekers getracht algoritmen te ontwikkelen waarmee een drone zijn eigen positie kan inschatten enkel en alleen op basis van de uitgevoerde 3D-metingen, met andere woorden zonder assistentie van een gps-positiebepalingssysteem. Het gaat om **een aanpak waarbij de lokalisatie en de cartografie**

<sup>(13)</sup> Naast de laserscanner kunnen we ook de dieptecamera vermelden, die we bijvoorbeeld terugvinden in het Kinectsysteem van Microsoft. Tot deze technologieën behoren ook de laserlijnsenners, de 3D-scanners met gestructureerd licht of de eenvoudige camera's waarvan de videobeelden in realtime geanalyseerd worden en in 3D gereconstrueerd worden door middel van fotogrammetrie.



simultaan gebeurt, ook gekend onder het acroniem SLAM (*‘Simultaneous Localization and Mapping’*), waardoor de drone zich kan oriënteren in een vooraf onbekend gebied. Deze oplossingen leiden tot een autonome drone die kan vliegen in een omgeving met een zwak of zelfs onbestaand gps-signaal (bv. binnenruimten of ondergrondse ruimten, zie afbeelding 41). In de praktijk kan het soms nodig zijn om heel wat bijkomende sensoren te voorzien, zodat de drone deze autonome verplaatsing kan uitvoeren (zoals versnellingsmeters, afstandsmeters, bijkomende camera’s ...).

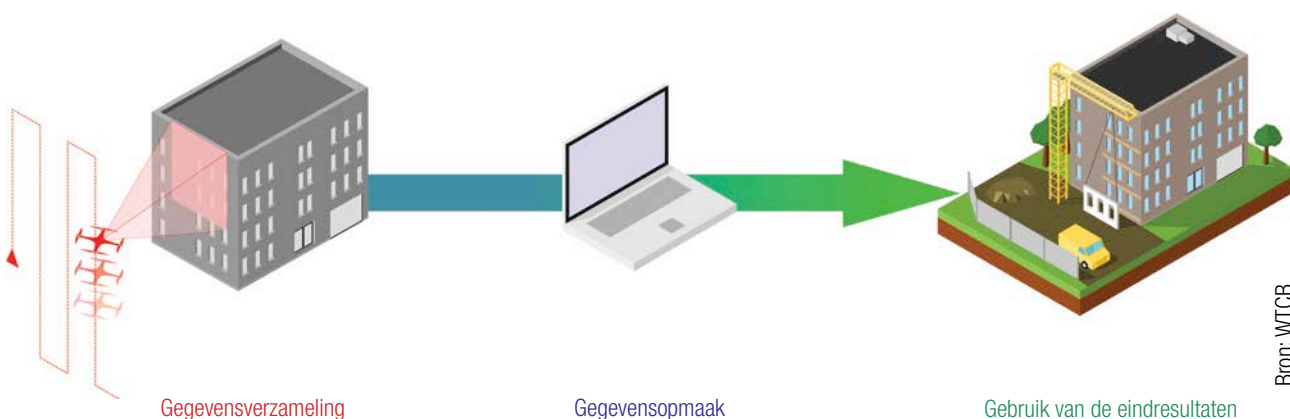


Bron: [B1]

Afb. 41 De SLAM-algoritmen maken cartografie van de binnenruimten zonder gps mogelijk.

### 4.3 SCHAAL VAN DE BESTUDEERDE VOORWERPEN EN DE TOEPASSINGEN VAN 3D-MODELLEN

Bij 3D-opmetingen met een drone kunnen we drie belangrijke fasen onderscheiden (zie afbeelding 42). Eerst is er de **verzamel-fase** van de gegevens op zich, die onbewerkte data zal opleveren (puntenwolken, foto’s ...). **De onbewerkte gegevens moeten vervolgens in een vorm gegoten worden om gebruikt te kunnen worden door de opdrachtgever.** Deze gegevenstransformatie kan meer of minder complex zijn in functie van de beoogde toepassing en zal leiden tot een bruikbaar eindresultaat, zijnde een model of een bestand dat onmiddellijk of eenvoudig te gebruiken is. Een fabrikant van ramen zal bijvoorbeeld 2D-tekeningen nodig hebben van de bestaande vensteropeningen in plaats van een volledige puntenwolk. **De toegevoegde waarde van dienstverleners op de markt van 3D-opmetingen zit dus in de mogelijkheid om op adequate wijze de gegevens te verzamelen en deze om te zetten om aan een specifiek behoefte te beantwoorden.** Zo zal een afstandspiloot van een drone zich meer onderscheiden door zijn vaardigheden op het vlak van gegevensverzameling dan door zijn loutere stuurvaardigheden.



Bron: WTCB

Afb. 42 De drie fasen van een opmeting en de weg die de informatie aflegt.

## 4. Door drones gecreëerde 3D-modellen

De operator die belast is met de opmeting moet idealiter steeds de finale gebruiksdoelstellingen voor ogen houden. De opdrachtgever moet zijn noden dus op een duidelijke manier kunnen overbrengen aan de dronegebruiker en aan diegenen die verantwoordelijk zijn voor de gegevensopmaak. Hier volgen enkele vragen die men zich zou kunnen stellen:

- **Wat is het studieobject? Waar stopt het exact?**  
Het is niet nodig om de vier gevels van een gebouw te scannen als de opdrachtgever slechts in één gevel geïnteresseerd is.
- **Welke informatie is nodig? Welke informatie is wenselijk?**  
Hier gaat het om het formaat van het eindresultaat dat men wenst: het verwachte soort model, het bestandsformaat, de eventuele herhaling van de meting doorheen de tijd, de modaliteiten voor gegevensopslag en -overdracht ...
- **Welke meetafwijking (tolerantie) is aanvaardbaar voor het beoogde eindgebruik?**  
Een 3D-model bestemd voor virtual-realitytoepassingen zal niet onderworpen worden aan dezelfde vereisten als een model dat bedoeld is voor de fabricatie van een element in een fabriek.

Het kan gebeuren dat de opdrachtgever geen goede kennis heeft over de mogelijkheden van een 3D-opmeting. In sommige gevallen zullen de verwachtingen gewoonweg onrealistisch zijn. Aan de andere kant zullen niet alle dienstverleners in staat zijn om de verwachte eindresultaten voort te brengen of ze op te leveren met de vereiste mate van nauwkeurigheid.

We mogen niet vergeten dat een digitale 3D-voorstelling van nature zeer aanpasbaar is. Men kan een 3D-model van een bepaald type naar een ander type omzetten, de grootte ervan reduceren, het vergelijken met een ander model of met referentiegegevens of het gebruiken als hulp bij het tekenen, meten of rekenen. Het is weliswaar onmogelijk om een inventaris te maken van de mogelijkheden die er bestaan voor professionals wat het eindresultaat betreft, hoe uitgebreid ze ook zijn. Toch kunnen we proberen **om in dit document een overzicht te geven van enkele veel voorkomende studieonderwerpen op het vlak van 3D-digitalisering met behulp van drones en de hiermee verband houdende soorten van digitale verwerking**. Voor meer informatie over de verwerkingsketens bij 3D-modellen kan men **de WTCB-monografie die gewijd is aan 3D-opmetingen in hoge resolutie raadplegen** [D2].

Op kleine schaal kunnen we kleine of zeer kleine architecturale elementen digitaliseren, zoals versieringen, lijstwerk of gebeeldhouwde elementen die zich op hoogte bevinden (zie afbeelding 43). Indien deze studieobjecten bestaan uit steenachtig materiaal, zal fotogrammetrie meestal erg efficiënt blijken te zijn. **Op basis van het verkregen bestand kan bijvoorbeeld een replica van het voorwerp gemaakt worden met behulp van technieken voor digitale fabricatie (bv. 3D-printen of digitaal gestuurde houtbewerking)**. Men baseert zich dan op een raster, ook wel 'mesh' genaamd, dat vertaald zal worden in instructies voor de machine door een gespecialiseerd softwareprogramma. De kleurinformatie zal in dit geval geen enkel belang hebben. Een goed getextureerd raster zal daarentegen een waardevolle hulp zijn voor experts en restaurateurs om bijvoorbeeld vormen van aantastingen te identificeren. De informatie die naar voren gebracht moet worden, verschilt dus van de ene studie tot de andere.

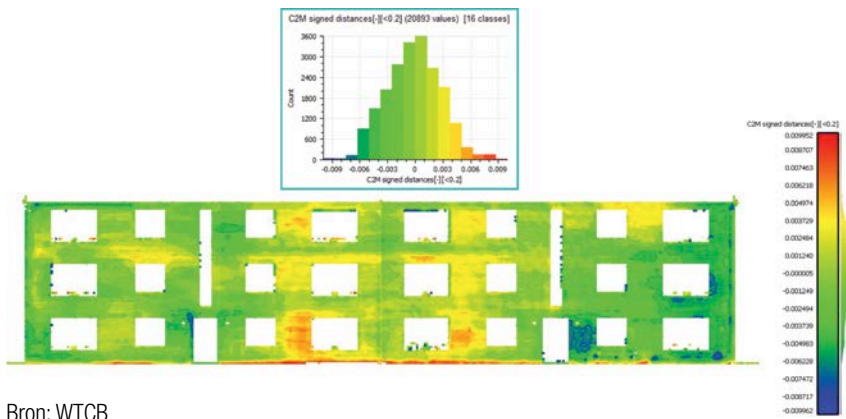


Bron: WTCB

Afb. 43 Een 3D-digitalisering van een architecturaal element.

Op grotere schaal kunnen drones gebruikt worden om modellen te maken van het volledige gebouw. De eindresultaten op deze schaal omvatten puntenwolken, orthofoto's<sup>(14)</sup>, tekeningen, CAD-modelleringen of BIM-modellen. In bepaalde gevallen zal de dienstverlener zich op een specifiek deel van het gebouw moeten focussen, zoals een gevel of een dak. Ook daar biedt 3D-digitalisering heel wat mogelijkheden voor de verschillende beroepstakken. Een **digitaal model van de vlakheid van een bestaande gevel** kan bijvoorbeeld erg nuttig zijn voor een aannemer die verantwoordelijk is voor de renovatie van de gevel (zie afbeelding 44).

(14) Soms ook 'orthomozaïek' of 'orthofotoplan' genoemd. Het gaat om gecorrigeerde foto's waar men alle perspectief van wegneemt. In fotogrammetrische softwareprogramma's is het vaak mogelijk om deze orthofoto's automatisch te genereren op basis van de gecreëerde 3D-'mesh' en van de foto's die gebruikt werden voor de heropbouw.

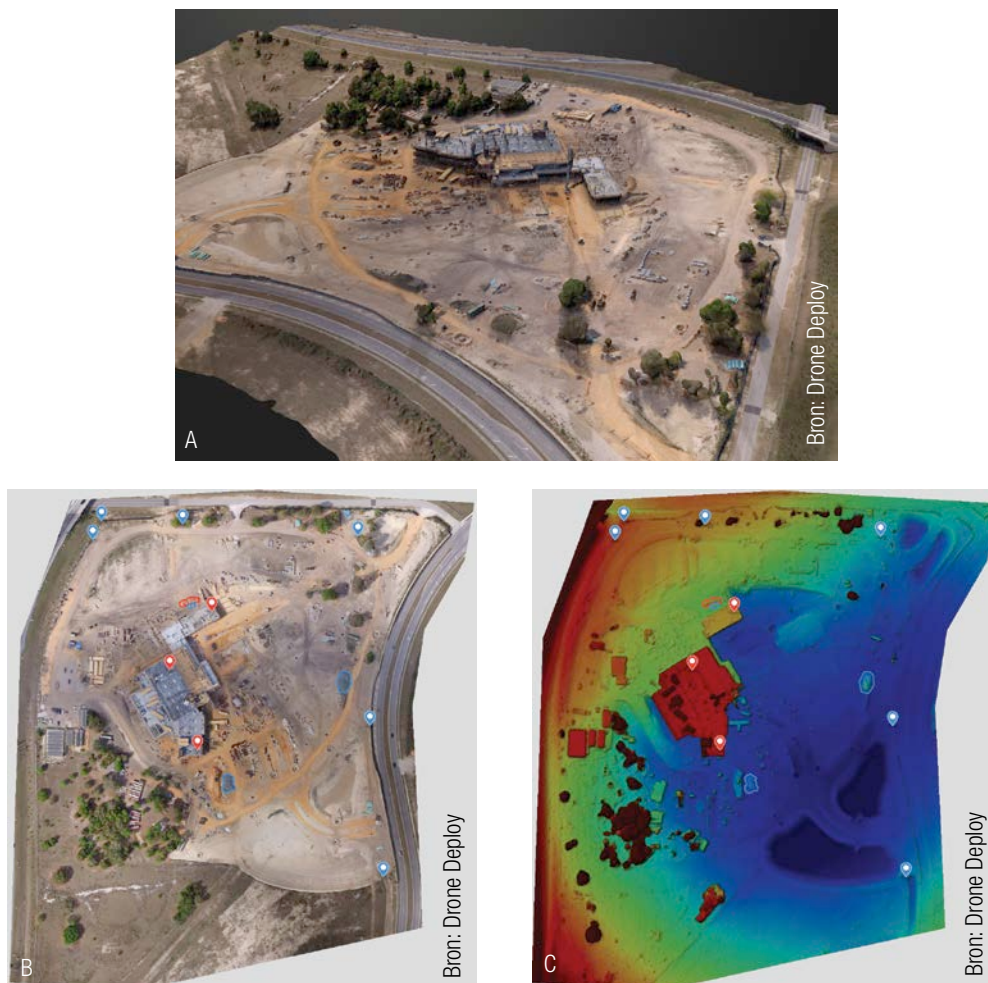


Afb. 44 Digitaal model van de vervorming van een gevel. Ieder punt van de puntenwolk wordt ingekleurd in functie van de afstand tot een gemiddeld vlak. De blauw- of roodgekleurde zones wijken dus sterk af van dit gemiddelde vlak.

Bron: WTCB

Op zeer grote schaal vormen de drones **zeer krachtige hulpmiddelen voor de modellering van terreinen, grote infrastructuren of zelfs volledige wijken**. Heel wat gegevens kunnen uit de rasters gehaald worden die gecreëerd werden op basis van fotogrammetrie (zie afbeelding 45A): contourlijnen, oppervlakten, volumes ... Het is ook mogelijk om een 3D-scan te gebruiken om orthofotoplannen te genereren (zie afbeelding 45B) of als hulpmiddel bij het maken van topografische tekeningen.

De **digitale oppervlaktemodellen (DSM voor 'Digital Surface Model')** zijn driedimensionale kaarten waarop de hoogte van het terrein en van de elementen die op de grond aanwezig zijn, aangeduid worden (gebouwen, vegetatie, routes ..., zie afbeelding 45C). In de ontwerpfase kan men **een scan van een terrein importeren in het digitale oppervlaktemodel**. De BIM-maquette van het toekomstige gebouw kan dan in het model geplaatst worden. Deze scan kan ook als basis dienen om een automatische vlucht te opnieuw te definiëren, waarbij er rekening gehouden wordt met het reliëf. Een eerste vlucht zou zo als basis kunnen dienen om een preciezere 3D-meting uit te voeren in een tweede fase.



Afb. 45 Eindresultaten bruikbaar op grote schaal. A. Getextureerd raster. B. Orthofotografie. C. Digitaal oppervlaktemodel.





# 5. ANALYSE VAN DE MOGELIJKHEDEN VOOR DE BOUWSECTOR

## 5.1 INLEIDING

Drones bieden veel opportuniteiten voor professionals uit de bouwsector. Ze maken het mogelijk om tegen een lagere prijs luchtbeelden te maken, wat vroeger moeilijker of zelfs onmogelijk was. [Door afstand te nemen via de lucht, zien we de gebouwen en werven met een nieuwe blik.](#)

Het eerste rechtstreekse voordeel zit in de mogelijkheid om de werkelijkheid snel vast te leggen vanuit de lucht door middel van foto's of video's. Op deze manier kan een klant of aannemer een site of gebouw bijvoorbeeld zeer snel leren kennen. Naast de luchtbeelden kan er een ongezien aantal hulpmiddelen aan boord van een drone geïnstalleerd worden en gebruikt worden zoals nooit tevoren (zie § 3.2, p. 19).

Men kan in het algemeen zeggen dat drones:

- **een ongeziene service bieden, waarmee men bijvoorbeeld:**
  - een groot aantal foto's of 3D-luchtgegevens kan verzamelen in realtime
  - een nauwkeurige 3D-weergave kan maken van volledige sites
  - milieutoezicht kan uitvoeren vanuit de lucht
- **tijd en geld uitsparen bij reeds bestaande taken, zoals:**
  - 3D-opmetingen op aanvraag uitvoeren, met inbegrip van opmetingen in de hoogte
  - op herhaaldelijke en eventueel geautomatiseerde wijze tal van inspecties uitvoeren (visueel, thermografisch ...)
  - de verplaatsingen op de werf beheren
- **bepaalde risico's beperken bij de uitvoering van diverse taken, zoals onder andere:**
  - inspecties uitvoeren op hoogte zonder dat het nodig is om uitrustingen zoals steigers of veiligheidstouwen aan te brengen
  - overgaan tot opmetingen op gevaarlijke plekken (chemische verontreiniging, structurele instabiliteit ...)
  - toezien op risicovolle activiteiten in realtime.

In 2015 voerde Navigant [N1] een enquête uit, waaruit bleek dat de bevindingen van dronegebruikers in de bouwsector positief waren. Een aantal van deze commentaren werden hernomen in onderstaand kaderstuk:

### **Wat betreft de gegevens, de kwaliteit ervan en de kosten die eraan verbonden zijn:**

- 'Nauwkeurige opmetingen van het terrein [...].'
- 'Een uniek perspectief op het project, een beter beeld diepte van de foto's [...].'
- 'Veel sneller dan het gebruik van een *'total station'* [...].'
- 'Maakt het voor klanten op afstand mogelijk om de werken in realtime op te volgen [...].'
- 'Foto's van een betere kwaliteit tegen een lagere prijs en ook nog eens sneller [...].'
- 'Klanten houden ervan om hun project vanuit deze invalshoek te zien [...].'
- 'De beelden zijn prachtig vanuit marketingoogpunt [...].'

### **Wat betreft de beheeraspecten:**

- 'Een drone helpt om een volledig inzicht te krijgen in de vooruitgang van het project en in de ontwerpproblemen in moeilijk te observeren zones [...].'
- 'Het helpt ons, als architect van het project, om betere oplossingen te vinden voor problemen. Daarnaast is het een middel om informatie te delen, aangezien niet alle leden van het projectteam altijd beschikbaar zijn om de site persoonlijk te bezoeken [...].'
- 'De inspectie van schade in moeilijk toegankelijke zones is van onschatbare waarde gebleken voor de planning van de herstellingen [...].'

### **Wat betreft het gebruik:**

- 'Zeer efficiënt [...].'
- 'Het gebruik van gps-punten en voorgeprogrammeerde vluchtplannen biedt tal van toepassingsmogelijkheden. Men kan bijvoorbeeld eenzelfde vlucht maand na maand uitvoeren, en dit kan mogelijk 'timelapses' en luchtfoto's vervangen.'

### **Wat betreft de veiligheid:**

- 'De gps-punten en de voorgeprogrammeerde vluchten zorgen voor een veiligere ervaring dan wanneer er handmatig gevlogen wordt.'
- 'Meer veiligheid, ook op daken.'

## 5. Analyse van de mogelijkheden voor de bouwsector

### 5.2 BEWEZEN TOEPASSINGEN VAN DRONES

In dit deel zullen we dieper ingaan op de toepassingen met drones die reeds volledig gevalideerd zijn en waarvan het nut voor de bouwsector bewezen is. De betrokken domeinen en taken zijn erg uitgebreid en worden samengevat in afbeelding 46.



#### Patrimonium

Documentatie, inventaris, inspectie, virtueel bezoek ...



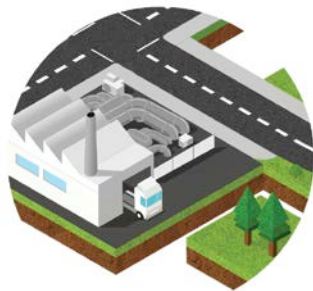
#### Renovatie

Documentatie, inspectie, 'as is'-opmetingen ...



#### Nieuwbouw

Documentatie, promotie, werfopvolging, controleopmetingen ...



#### Industriële sites

Inspectie, veiligheidstoezicht, stockbeheer ...



#### Ruimtelijke ordening, infrastructuur

Cartografie, documentatie, administratie ...

Bron: WTCB

Afb. 46 De verschillende toepassingsgebieden van de drone en de gangbare soorten onderzoek.

#### 5.2.1 DOCUMENTATIE EN COMMUNICATIE

Deze eerste categorie omvat de opdrachten waarbij de drone gebruikt wordt als **mediaproductent (foto's, video's, fotorealistische 3D-modellen ...)**, om de werkelijkheid beter te documenteren en dus ook beter te begrijpen. Bij de start van een bouwproject bijvoorbeeld, op het moment dat de architecten en planningsdeskundigen hun initiële plannen uitwerken, is de informatie over de site van cruciaal belang. **Drones zorgen voor een nauwkeurige en snelle oplossing om een volledig en duidelijk overzicht te hebben van de site.** Ze kunnen ook gebruikt worden om potentiële moeilijkheden te identificeren voordat ze een probleem kunnen vormen in een latere fase van het project. Vervolgens moet men er zich tijdens de werffase van vergewissen **dat iedere fase correct gedocumenteerd en gefotografeerd wordt.** Een drone biedt bouwbedrijven de mogelijkheid om luchtbeelden en videobeelden van hoge kwaliteit te maken ter ondersteuning van hun documentatie (zie afbeelding 47). Op het einde van de werf kunnen de dronebeelden ter illustratie gebruikt worden bij de oplevering van het project.

Wat erfgoed betreft, is het tevens van groot belang om te beschikken over kwalitatieve visuele ondersteuning. Voor zeer hoge gebouwen en monumenten, zoals kerken, kathedralen en belforten, is een drone de beste keuze. De mogelijkheid om 3D-scans te maken met een hoge visuele kwaliteit kan ook zeer nuttig blijken om het monument goed te documenteren bijvoorbeeld.

De foto's, video's of 3D-weergaves die met behulp van een drone voortgebracht worden, kunnen uiteraard **een krachtig hulpmiddel zijn bij de communicatie.** Ze kunnen gebruikt worden voor de promotie van een vastgoedproject of om de montage van een innovatief renovatiesysteem aan te tonen. **Er bestaan immers tal van mogelijkheden om een kwalitatief 3D-model te gebruiken voor een efficiënte communicatie.** Men kan bijvoorbeeld een beroep doen op een virtual-realitybril of op een video



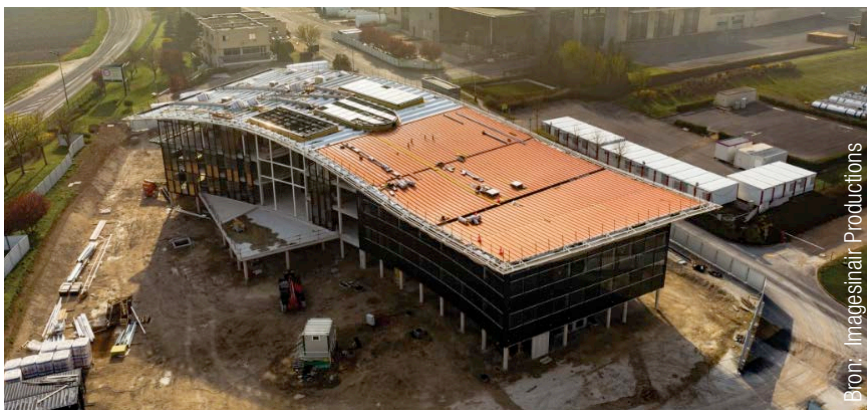
met 'toegevoegde realiteit' (*augmented reality*). Bij deze technologie wordt een virtuele maquette van een gebouw in een digitaal model van de toekomstige site geïntegreerd, op basis van videobeelden die met behulp van een drone gemaakt werden. Het 3D-model wordt aangepast aan de beelden en schetst zo een realistisch beeld. Heel wat softwarefabrikanten bieden bovendien vereenvoudigde tools aan voor de visualisatie en de annotatie van puntenwolken of 'meshes'.

De meest gevraagde resultaten in het kader van documentatie- en communicatieopdrachten zijn:

- video's en foto's (gemiddelde tot hoge resolutie)
- getextureerde 3D-'meshes'.

In het algemeen biedt het gebruik van drones voor dit soort opdrachten de volgende voordelen:

- meer dynamische uitwerkingen
- ongeziene perspectieven (of gemakkelijker en goedkoper verkregen in vergelijking met de traditionele technieken voor het maken luchtbeelden)
- zeer realistische modellen.



Afb. 47 Visuele beelden van hoge kwaliteit kunnen gegenereerd worden ter ondersteuning van de promotie van een bouwproject of het werk van een aannemer.

### 5.2.2 INSPECTIE

Inspectie is één van de activiteiten waarvoor drones het meest ingezet worden in de bouwsector. Bij de renovatie van gebouwen gaat het met name over het geheel van observatietaken waarmee **bestaande pathologieën gediagnosticeerd kunnen worden**. Een dakwerker zal bijvoorbeeld een bestek kunnen opstellen op basis van beelden die gemaakt werden door over het bestaande dak te vliegen. Drones bieden de mogelijkheid om de kosten van de kwaliteitscontrole te beperken van alle interventies in de hoogte, zowel op de werf als voor nieuwbouw of renovatie. We denken hierbij onder meer aan de controle van de werkzaamheden om de waterdichtheid van een gebouw in opbouw te verzekeren. Bovendien kan de inspectie opnieuw uitgevoerd worden tijdens iedere belangrijke werffase. Zo zullen de projectontwerpers een globaal zicht hebben op de problemen waarmee ze geconfronteerd zullen worden tijdens de uitvoering.

De inspectie van schade veroorzaakt door natuurrampen of ongevallen is een ander voorbeeld van opdrachten waarvoor drones uitermate relevant zijn (zie afbeelding 48). **Drones kunnen immers zeer snel ingezet worden en bieden zo een oplossing die ideaal is voor noodsituaties**. Bovendien zorgen ze ervoor dat de risico's beperkt blijven bij een inspectie in een gevaarlijke omgeving (aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de lucht, instabiele structuren ...).

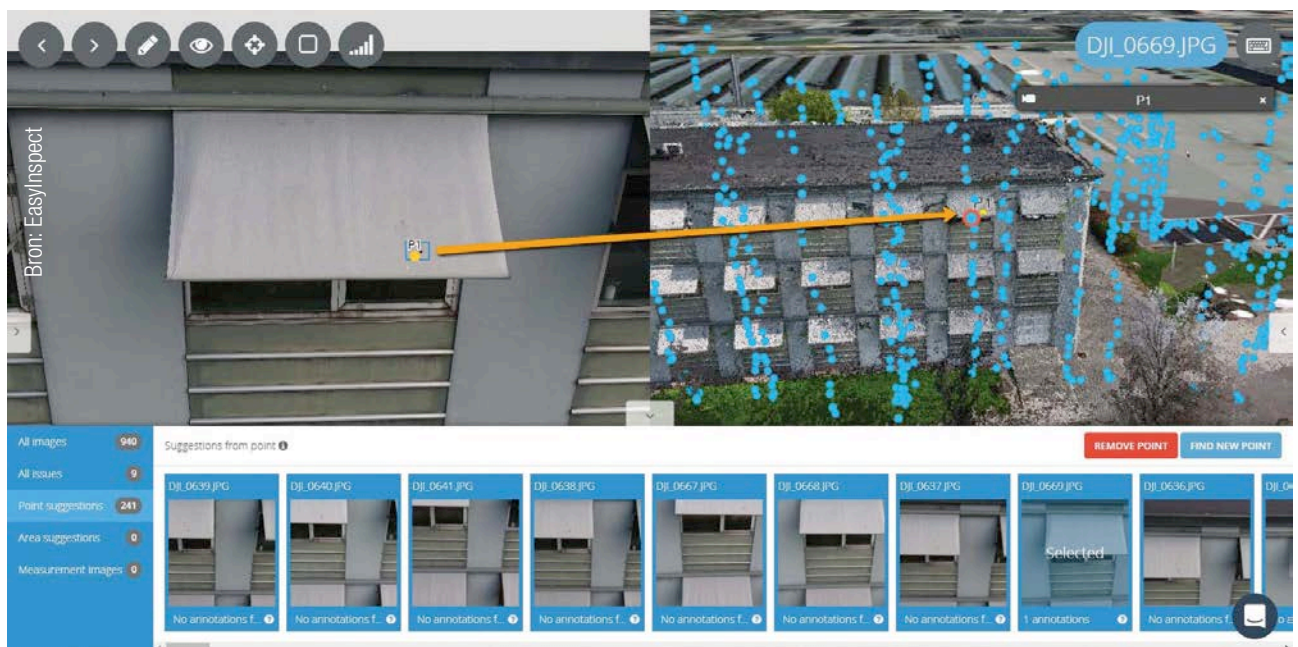


Afb. 48 Analyse van schade op de werf ten gevolge van een explosie.

## 5. Analyse van de mogelijkheden voor de bouwsector

Merk op dat het **geavanceerde beeldvormingsmateriaal** dat werd voorgesteld in § 3.2.2 (p. 24), een waardevol instrument is voor heel wat soorten inspecties. De **thermografische metingen** zijn bijvoorbeeld erg handig om een bestaand gebouw te diagnosticeren, om de kwaliteit van de plaatsing van een element na te gaan of om de prestaties van zonne-installaties te beoordelen. De rechtstreekse transmissie van inspectiebeelden naar een operator op de grond kan bovendien zeer nuttig zijn op een werf. Dit zal het mogelijk maken om de reactietijd te verkorten tussen het vaststellen van een probleem en het voorstellen van een oplossing. Drones kunnen immers uitgerust worden met automatische technologieën voor gegevensoverdracht, waardoor de werfverantwoordelijke de foto's in realtime kan ontvangen zonder dat hij fysiek ter plaatse moet zijn.

De visuele inspectie op basis van foto's of video's wordt dus enorm vereenvoudigd door het gebruik van drones (de inspecteur heeft geen steiger of veiligheidsuitrusting nodig). **3D-voorstellingen kunnen ook op een meer innovatieve manier gebruikt worden om inspectieopdrachten te vergemakkelijken of om de vastgelegde beelden beter in hun context te plaatsen.** Zo kunnen bijvoorbeeld de foto's die tijdens een inspectie met een drone genomen werden visueel gelokaliseerd worden op een 3D-referentiemodel (puntenwolken, architecturaal model of zelfs BIM-model, zie afbeelding 49). Deze techniek vergemakkelijkt in grote mate de analyse van de expert en de communicatie van zijn besluiten. De expert kan **zich ook rechtstreeks op een 3D-fotorealistisch model baseren dat gegenereerd werd door fotogrammetrie, bv. voor de uitvoering van zijn analyse (oplijsten van pathologieën, beoordelen van schade ...)**. Dankzij een kwalitatieve 3D-scan beschikt hij immers over een volledige informatiebron zonder dat hij de werf meerdere keren moet bezoeken. Bij de traditionele fotografische inspectie daarentegen komt het voor dat een belangrijk element niet opgemerkt wordt, wat zou betekenen dat een nieuw werkbezoek noodzakelijk is.



Afb. 49 Software waarmee men kan verwijzen naar de plaats van een foto in een 3D-referentiemodel.

De volgende resultaten worden vaak opgeleverd bij inspectieopdrachten:

- foto's in hoge resolutie
- thermografische beelden
- 3D-*'meshes'* met fotorealistische textuur.

In het algemeen biedt van het gebruik van drones voor inspectieopdrachten de volgende voordelen:

- de beperking van risico's voor de werknemers (hoogte, chemische blootstelling ...)
- de toegankelijkheid en de uitvoeringssnelheid
- de mogelijkheid om de inspectie te automatiseren
- de verlaging van de inspectiekosten.

### 5.2.3 PRECISIEMETINGEN: ONTWERP, UITVOERING EN CONTROLE

Er zijn tal van situaties waarin het nodig is om de vormen en afmetingen van een gebouw, een deel ervan of de omgeving eromheen nauwkeurig in beeld te brengen. **Er zijn de geometrische opmetingen en de topografische opmetingen, dit zijn cruciale taken voor de landmeter, de aannemer of de architect.** Traditioneel gebeurt de dimensionale opmeting op de werf door middel van ‘total stations’ en eventueel een gps-station indien een geolokalisatie van de gegevens vereist is. Het proces wordt goed gedocumenteerd maar het is niet mogelijk om een gedetailleerd model te verkrijgen. **De hoge definitie die we verkrijgen door middel van fotogrammetrie of een laserscan biedt echter tal van mogelijkheden op het vlak van leverbare informatie: iedere baksteen van een muur of iedere steen op een terrein kan potentieel weergegeven worden in een 3D-model, en dat bovendien in kleur!** De opmeting van een terrein of gebouw met behulp van een drone moet bijgevolg steeds gericht zijn op het aanleveren van goed gedefinieerde resultaten (zie § 4.3, p. 39). Anders dreigt energie, tijd en geld verloren te gaan bij het opmaken van modellen die onnodig gedetailleerd zijn. De opdrachtgever van de opmeting met drones moet duidelijke technische doelstellingen vooropstellen. Voor vele bouwprofessionals is de omzetting in lijntekeningen (CAD) één van de belangrijkste toepassingen van 3D-digitalisatie.

Uiteraard is het vandaag **onmogelijk om over 3D-modellen in de bouw te spreken zonder de woorden BIM in de mond te nemen.** De integratie van nauwkeurige geometrische informatie over het bestaande gebouw in het BIM-proces is snel werkelijkheid geworden dankzij de ontwikkeling van meer toegankelijke technologieën voor 3D-scanning en dankzij een betere interoperabiliteit van 2D- of 3D-gegevens tussen verschillende softwareprogramma's. Zo bestaan er heel wat manieren om puntenwolken, ‘meshes’ of andere met een drone verzamelde gegevens te valoriseren in het kader van een BIM-aanpak.

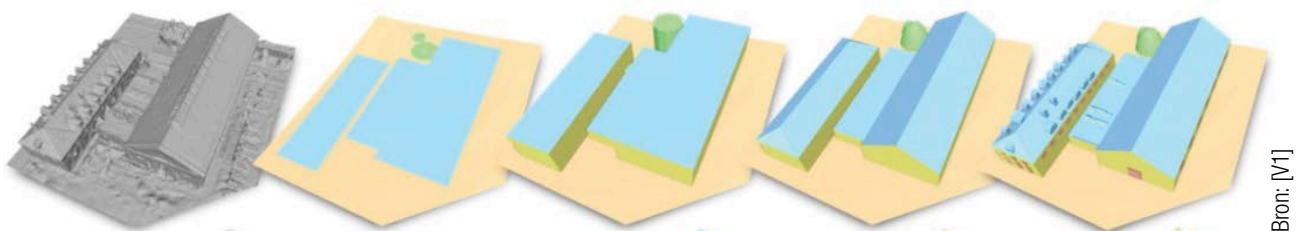
Deze paragraaf wil een aantal interessante mogelijkheden schetsen voor het gebruik van drones voor geometrische opmetingen.

#### **‘As is’-opmetingen van gebouwen met het oog op renovatie**

Bij renovaties effenen de 3D-opmetingen in hoge resolutie het pad voor **een nauwkeurige en uiterst volledige voorstelling van de bestaande gebouwen.** Deze 3D-gegevens vormen een enorme troef voor de verantwoordelijken van renovatieprojecten, de aannemers en de fabrikanten, die er belangrijke informatie zullen kunnen uithalen en zo hun werk kunnen optimaliseren. De bestaande plannen van oude gebouwen zijn immers vaak onjuist of onvolledig, terwijl plannen die op de traditionele manier geactualiseerd worden in vergelijking vaak erg weinig gedetailleerd zijn. Voor dergelijke ‘as is’-opmetingen <sup>(5)</sup> van het volledige gebouw kan men met een drone bovendien zeer goed de verschillende buitenstructuren bereiken. **Daken kunnen bijvoorbeeld gemakkelijk opgemeten worden zonder dat men grote middelen moet inzetten [G1].**

De 3D-gegevens afkomstig van opmetingen kunnen herwerkt worden om gepaste eindresultaten te genereren. Het kan gaan om redelijk gangbare bestanden zoals CAD-lijntekeningen of andere meer specifieke bestanden.

**Aan de hand van een met een drone gegenereerde ‘mesh’ of puntenwolk, is het ook mogelijk om een BIM-model te ontwikkelen.** Het gescande gebouw zal dan volledig opnieuw gemodelleerd moeten worden in parametrische voorwerpen, op basis van de 3D-ondersteuning afkomstig van de digitalisering door drones. Ondanks de aanzienlijke inspanningen die hiermee gepaard gaan, zal BIM uiteindelijk toch vele voordelen bieden bij een renovatieproject, zoals de mogelijkheid om de werf te plannen en de verschillende actoren op het terrein beter te coördineren. Ze zullen een volledig parametrisch model ter beschikking hebben dat zo goed mogelijk is aangepast aan de realiteit. In afbeelding 50 wordt het belang benadrukt van het begrip ‘detailgraad’ (*‘level of detail’*) in het kader van de BIM-modellering. De omzetting van een ‘mesh’ in een parametrisch model kan immers op tal van manieren gebeuren, in functie van de informatie die men uit het model wil halen.



Afb. 50 De detailgraad bij de modellering.

<sup>(5)</sup> Opmeting van een gebouw in zijn huidige staat.

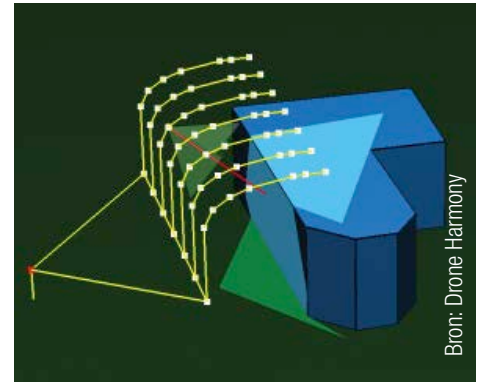


## 5. Analyse van de mogelijkheden voor de bouwsector

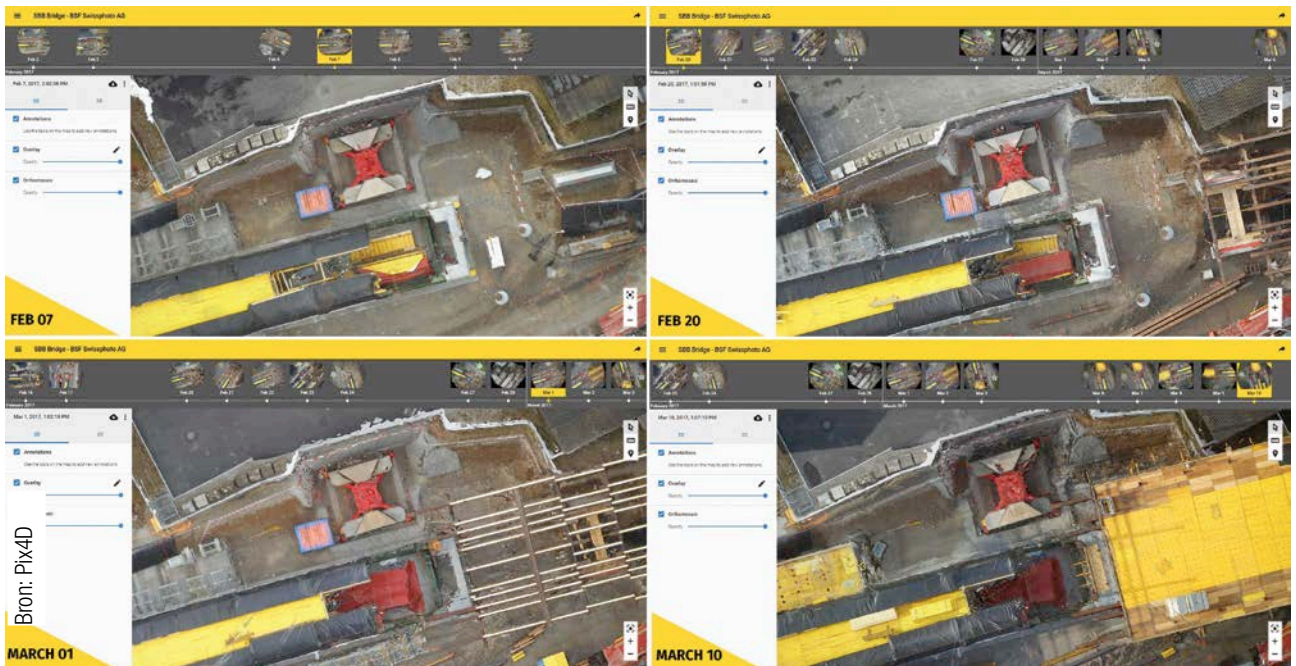
De eisen op het vlak van de nauwkeurigheid van de 3D-opmeting verschillen van de ene opdracht tot de andere. Voor digitaliseringsopdrachten waarbij heel precieze metingen nodig zijn, moet de dronegebruiker de tools die hij ter beschikking heeft volledig beheersen om de kwaliteit van de fotogrammetrische reconstructie te optimaliseren. Bepaalde recente softwareprogramma's maken het bijvoorbeeld mogelijk om complexe automatische vluchten te plannen (zie afbeelding 51). De kwaliteit van de georeferentie van de opmetingen zal eveneens van essentieel belang zijn (zie § 4.2.1, p. 34). In sommige gevallen zal de fotogrammetrie simpelweg niet aangepast zijn aan de opdracht.

### Controleopmetingen

Er bestaan tal van manieren om een geometrische opmeting van een gebouw te benutten voor controledoelstellingen. Een periodieke 3D-opmeting van een werf (gebouw in opbouw, graafwerken ...) zal het voor de aannemer bijvoorbeeld mogelijk maken om een oordeel te vellen over de vooruitgang van de werken (zie afbeelding 52). In dit geval heeft een drone veel meer te bieden in vergelijking met meer traditionele oplossingen voor 3D-opmetingen. De bewegingen van machines op een werf, de aanwezigheid van obstakels of de onbereikbaarheid van bepaalde zones kunnen de opdracht immers erg moeilijk maken voor een landmeter, die zijn werk uitvoert vanop de grond. Bovendien zorgen de automatische-vluchtmogelijkheden voor een goede coherentie van de verzamelde gegevens. Indien de punten waarop de beelden gemaakt worden bij iedere vlucht immers gelijk zijn (door het gebruik van gps-punten), zouden de puntenwolken of 'meshes' afkomstig van het fotogrammetrische onderzoek in principe een constante kwaliteit moeten hebben en zullen ze met elkaar vergeleken kunnen worden <sup>(16)</sup>.



Afb. 51 Een geoptimaliseerd automatisch vliegplan voor de reconstructie van een gevel.



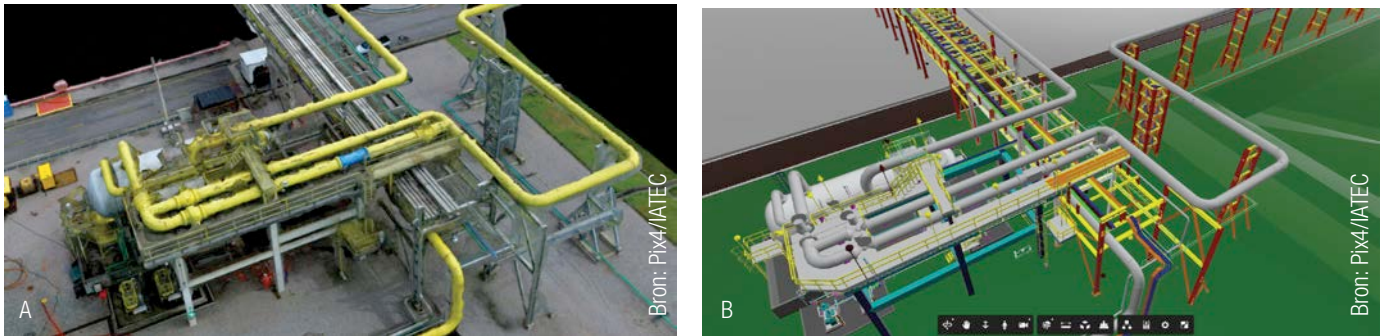
Afb. 52 3D-opmetingen kunnen uitgevoerd en gearchiveerd worden op regelmatige basis om het bouwproces op te volgen.

De controle van de vooruitgang kan eveneens rechtstreeks geïntegreerd worden in het BIM-model. Door superpositie van het virtuele model op een scan die op een bepaald moment genomen werd op de bouwplaats, zou de verantwoordelijke in de toekomst een automatisch overzicht kunnen krijgen over de vooruitgang van de werken in het kader van een 4D-BIM-aanpak [L1].

Met een puntenwolk of een 'mesh' is het eveneens mogelijk om een dimensionale controle uit te voeren. Door een met een drone gemaakte 3D-scan te vergelijken met een referentiemodel, kunnen eventuele afwijkingen ten opzichte van de vereiste toleranties aan het licht komen. De vergelijking tussen de scan en het referentiemodel kan op verschillende manieren gebeu-

<sup>(16)</sup> Op voorwaarde dat de referentiemethoden eveneens dezelfde zijn bij de herhaling van de opmeting (controlepunten op de grond of RTK-/PPK-technologie, zie § 4.2.1, p. 34).

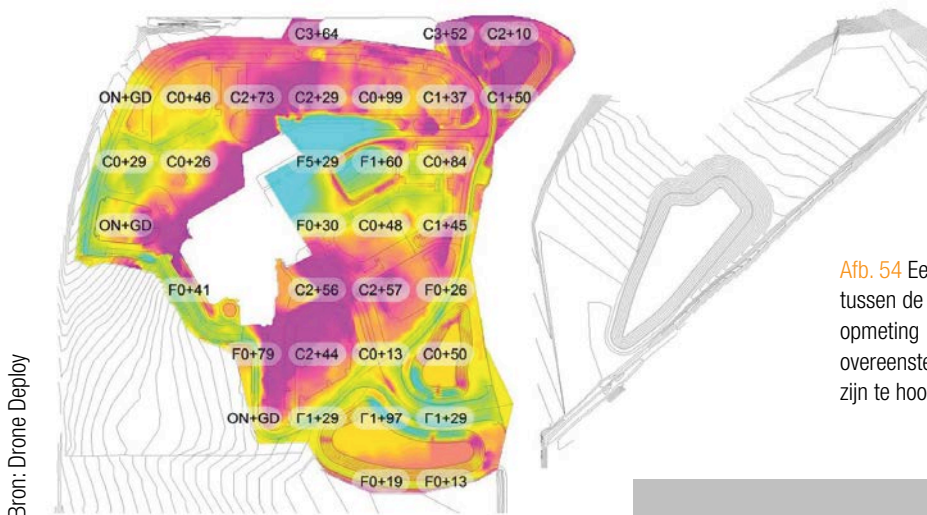
ren: superpositie van CAD-plannen bovenop een orthofoto, een architecturaal model vergelijken met een puntenwolk ... De verantwoordelijke kan zo de nodige aanpassingen doorvoeren, zonder dat men tijdens het vervolg van de werkzaamheden geconfronteerd wordt met de gevolgen van een onaangepaste uitvoering (zie afbeelding 53).



Afb. 53 De 'meshes' die voortgebracht worden via fotogrammetrie (A) kunnen vergeleken worden met de technische CAD-modellen (B).

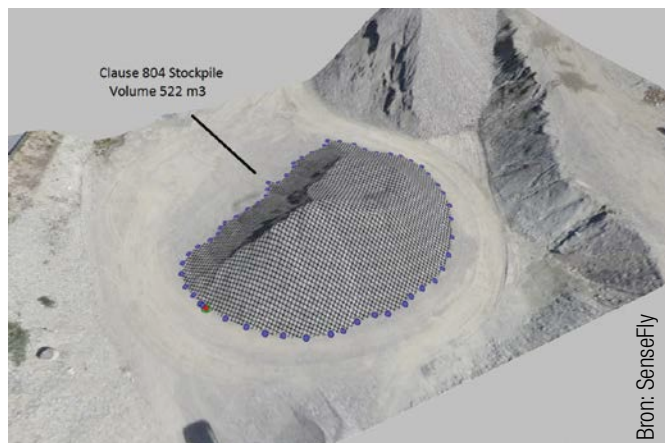
### Terreinopmetingen

Terreinopmetingen via de lucht zijn erg courant. Drones maken het mogelijk om de kosten van dergelijke studies te beperken en om de kwaliteit van de 3D-weergave via fotogrammetrie te verbeteren, aangezien de foto's vanuit een groter aantal gezichtshoeken genomen kunnen worden. De oppervlaktmodellen die eruit voortkomen kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden als ondersteuning om graafwerken te plannen of op te volgen (zie afbeelding 54). Heel wat softwareprogramma's zorgen er tevens voor dat volumes op een zeer intuïtieve wijze berekend kunnen worden aan de hand van 'meshes' die gegenereerd werden via fotogrammetrie (zie afbeelding 55). De werfverantwoordelijke zal dus makkelijk kunnen beoordelen welke grondvolumes er verplaatst moeten worden. De orthofoto's maken ook heel wat dimensionale analyses mogelijk.



Afb. 54 Een kleurcode zorgt ervoor dat de afwijkingen tussen de plannen van de graafwerken en de terreinopmeting zichtbaar worden. De groene zones zijn in overeenstemming met de plannen, de paarse zones zijn te hoog en de blauwe te laag.

Afb. 55 De met een drone gecreëerde 3D-modellen kunnen gebruikt worden om volumes te berekenen.





## 5. Analyse van de mogelijkheden voor de bouwsector

De resultaten die vaak afgeleverd worden voor geometrische en topografische studies zijn:

- georeferencierte puntenwolken in hoge resolutie
- getextureerde 3D-modellen
- orthofoto's of orthozichten
- geometrische modelleringen: lijntekeningen, 3D-modellen, BIM-modellen.

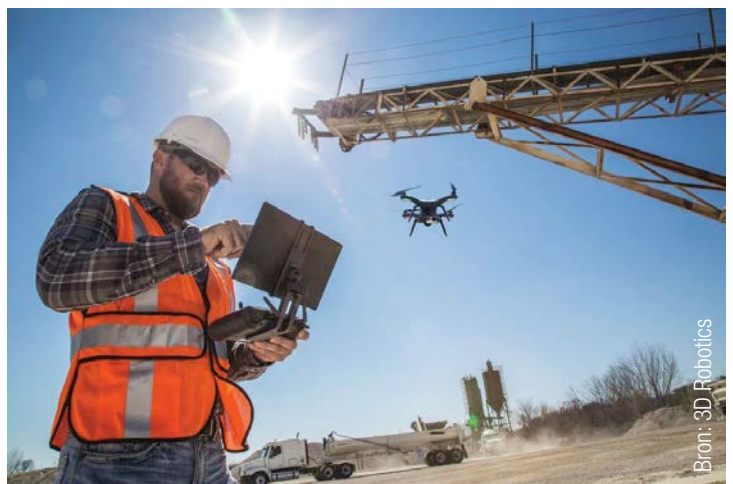
De voornaamste voordelen van een drone voor deze opdrachten zijn:

- de mogelijkheid om moeilijk bereikbare zones te digitaliseren (die soms niet per helikopter of per vliegtuig toegankelijk zijn)
- de mogelijkheid om gevaarlijke zones te digitaliseren waar de veiligheid van het personeel op de grond in het gedrang zou kunnen komen
- de mogelijkheid om een meting in de tijd te herhalen, eventueel met behulp van voorgeprogrammeerde vluchten
- de vermindering van de kosten in vergelijking met de conventionele manieren voor beeldopnames vanuit de lucht (bv. opmetingen met gps/vliegtuig/helikopter), in het bijzonder voor het opmeten van grote oppervlakten.

### 5.2.4 TOEZICHT EN MONITORING

Voor de aannemer op de werf vormt de drone een waardevol hulpmiddel waarmee hij de werken in realtime kan opvolgen: verplaatsing van materiaal, montage van elementen, graafwerken ... (zie afbeelding 56). Indien het om meer delicate handelingen gaat, wat de complexiteit of veiligheid betreft, zal de verantwoordelijke de werken beter kunnen coördineren door middel van de verschillende perspectieven die een drone biedt. Dankzij de vooruitgang van artificiële intelligentie zou een drone binnenkort in staat zijn om automatisch bepaalde uitvoeringsgebreken in realtime op te sporen.

Drones kunnen eveneens dienen om de activiteiten op de site te monitoren en op zoek te gaan naar ongewone voorwerpen, inbreuken op de veiligheidsregels of eenvoudigweg om het gebruik van het materieel te optimaliseren.



Afb. 56 De drone maakt het mogelijk om handelingen in realtime te monitoren.

De resultaten die vaak gevraagd worden bij toezichts- en controleopdrachten zijn:

- video's of foto's die in realtime weergegeven worden
- thermografische afbeeldingen die in realtime weergegeven worden.

De voornaamste voordelen van het gebruik een drone bij deze opdrachten zijn:

- de snelheid van de interventie
- de mogelijkheid om zeer snel van een overzichtsbeeld naar een gedetailleerder beeld te kunnen overschakelen indien nodig.

## 5.3 GEAVANCEERDE TOEPASSINGEN

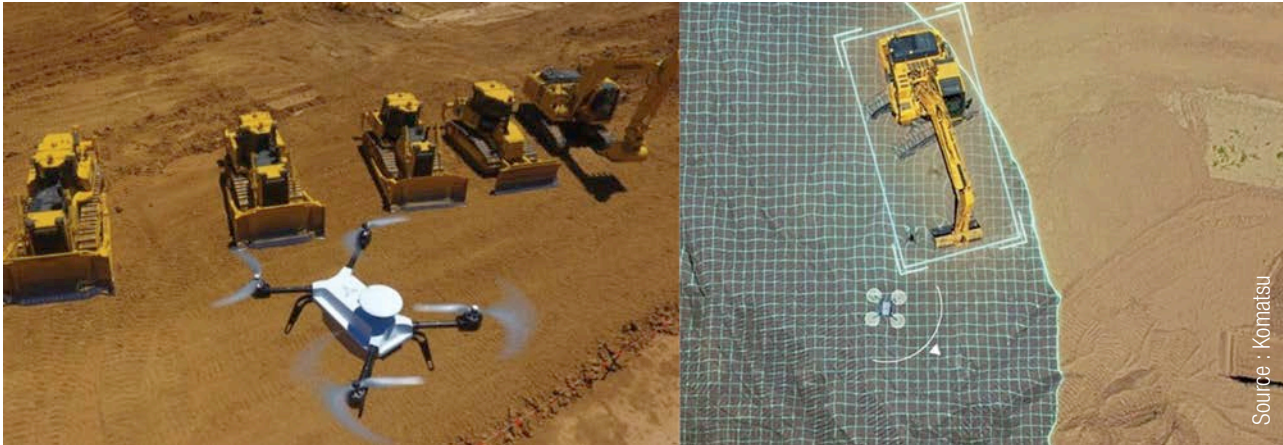
Hoewel het nut tal van talloze dronetoepassingen reeds bewezen werd op de werf, zijn er nog andere toepassingen die nog in een experimentele fase zitten of die op zijn minst veel minder courant zijn. Sommige toepassingen geven al een voorproefje van hoe de technologie er in de toekomst wellicht zal uitzien.

### 5.3.1 LOGISTIEK OP DE WERF

Omdat de drones in staat zijn om afstand te nemen in de lucht, kunnen ze een echte rol vervullen op het terrein. De informatie die door één of meerdere drones vergaard wordt, zal binnenkort gebruikt kunnen worden om de werken op een werf in realtime te organiseren, dankzij de vooruitgang van de artificiële intelligentie.



In Japan produceert een bedrijf reeds autonome bouwplaatsmachines. Om er het maximum uit te halen, is het bedrijf zijn licht gaan opsteken bij een dronefabrikant om een uitermate innovatieve oplossing te ontwikkelen. Met drones kan men hoogstaande terreinmodellen creëren op basis waarvan men instructies kan geven aan machines voor burgerlijke bouwwerken op de grond (zie afbeelding 57). Dankzij deze technologie werd er vooruitgang geboekt op het vlak van de snelheid en de doeltreffendheid van de valorisatie van de verzamelde gegevens. Het staat vast dat door de evolutie van artificiële intelligentie, de aanwezigheid van drones voor logistieke doeleinden op de werf in de toekomst nog zou moeten toenemen. Ze zouden gebruikt kunnen worden om de materiaalstroom op te volgen, om het gebruik van de voorzieningen te optimaliseren of om de werknemers te begeleiden bij de uitwerking van bepaalde handelingen. Op termijn kunnen drones misschien zelfs gebruikt worden om bepaalde apparatuur van één punt naar een ander punt te verplaatsen op de werf. Op industriële sites of mijnsites is het reeds mogelijk om een beroep te doen op drones om bepaalde externe stocks op regelmatige basis te beoordelen (dankzij de rekenalgoritmen voor volumes) en ze zo slimmer te beheren.



Afb. 57 Drones kunnen echt een rol gaan spelen op het terrein.

### 5.3.2 TRANSPORT VAN OBJECTEN EN MATERIALEN

Het nuttige laadvermogen van een drone kan aangewend worden om tal van sensoren te transporteren en **kan in theorie ook gebruikt worden voor het transport van voorwerpen**. Momenteel lijken scenario's over met drones afgeleverde postpakketjes, die voor heel wat ophef hebben gezorgd in de pers, nog toekomstmuziek te zijn. De invoering van een dicht en geautomatiseerd netwerk van drones in een stedelijke omgeving gaat gepaard met heel wat beslommingen en verplichtingen, voornamelijk op het vlak van veiligheid. De meest realistische toepassing van dronetransport momenteel, heeft betrekking op nood-situaties, zoals het transport van levensmiddelen in conflictzones of het dringend vervoer van organen [J1].

In de bouwsector kunnen we ons terecht vragen stellen bij de mogelijkheid om drones te gebruiken voor het transport van materiaal op een werf. Ondanks het feit dat dit soort toepassingen nog niet toegestaan wordt door de huidige regelgeving (zie § 6.2.2, p. 54), worden de eerste 'bouwdrones' al uitgetest in het kader van onderzoeksprojecten (zie afbeelding 58). Hoewel dergelijke initiatieven op het eerste gezicht onrealistisch kunnen lijken, is het onderliggende principe zeer interessant: de traditionele bouwmethode wordt fundamenteel in vraag gesteld. Deze aanpak zorgt ervoor dat er onderzoek gedaan wordt naar nieuwe vormen voor bouwelementen en het is een stimulans voor het heruitvinden van assemblagetechnieken. Daarnaast wordt er vooruitgang geboekt op het vlak van het han-



Afb. 58 Transport van bouwmaterialen met een drone.

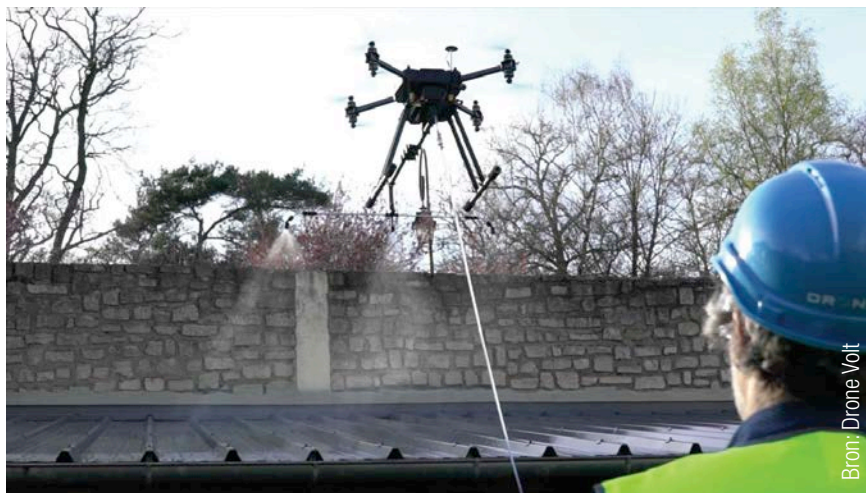
## 5. Analyse van de mogelijkheden voor de bouwsector

teren van voorwerpen met een drone, de automatisering van dronevluchten en de manier waarop de drone zijn omgeving waarneemt. Hoewel dit type drone wellicht nog niet meteen gebruikt zal worden op de werven van morgen om een volledig gebouw op te trekken, zou de drone bijvoorbeeld erg handig kunnen zijn voor bepaalde delicate assemblagewerkzaamheden.

### 5.3.3 INTERVENTIES OP GEBOUWEN

Drones kunnen gebruikt worden om rechtstreeks handelingen uit te voeren op bestaande voorwerpen en de eigenschappen ervan te veranderen. Om dit te doen, moet de drone gecombineerd worden met hulpmiddelen waarmee men fysieke tussenkomsten kan verrichten zoals reinigen, afschuren, verven, uitboren ...: de mogelijkheden zijn legio! Zoals reeds aangegeven werd in de hiervoor beschreven toepassingen, zijn drones uitermate interessant omdat ze in staat zijn om moeilijke toegankelijke zones te bereiken. Hun gebruik wordt evenzeer gerechtvaardigd door het feit dat bouwsteigers niet langer noodzakelijk zijn, de veiligheid van de werknemers verhoogd wordt of de uitvoering van sommige interventies versneld kan worden.

Een Frans bedrijf heeft al een drone op de markt gebracht waarmee men schoonmaak- of beschermingsproducten kan verspreiden op muren of daken (zie afbeelding 59). Het koninklijk besluit dat het gebruik van drones in België reglementeert, staat dergelijke interventies momenteel nog niet toe maar ondertussen heeft een eerste Belgische bedrijf toch een afwijking hierop kunnen bekomen (zie § 6.2.2, p. 54).



Afb. 59 Gebruik van een drone om een dak te besproeien.

### 5.3.4 INDOOR MAPPING

De SLAM-technologieën (zie § 4.2.3, p. 38) bevinden zich nog grotendeels in de onderzoeksfase. De mogelijke toepassingen voor de bouwsector zijn echter talrijk: autonome 'indoor mapping' van structureel onstabiele gebouwen, cartografie van ondergrondse parkings, zoeken naar gewonden na natuurrampen ... We merken op dat het vliegen met een drone in een binnenruimte kan resulteren in grote risico's op schade, voornamelijk wanneer er experimentele technologieën aangewend worden. Om de drone en de omgeving te beschermen tijdens een binnenvlucht, kan het toestel uitgerust worden met een bescherming (zie § 3.2.4, p. 27).

# 6. SITUATIE IN BELGIË

## 6.1 VOORNAAMSTE INSTELLINGEN MET BETREKKING TOT DRONES IN BELGIË

De actoren die zich in België bezighouden met drones worden iedere dag talrijker. We vermelden eerst de institutionele actoren die het gebruik van drones in het luchtruim in goede banen leiden. Eurocontrol is een intergouvernementele organisatie die opgericht werd in 1960 en [zich toelegt op de samenwerking tussen de verschillende Europese nationale overheden bevoegd inzake luchtverkeer](#). Daarnaast beheert Eurocontrol het luchtverkeer op grote hoogte in de aangrenzende luchtruimen van België, Luxemburg, Nederland en een deel van Duitsland. Het houdt zich evenwel niet bezig met het beheer van de dronevluchten die in dit document besproken worden. [Skeyes is verantwoordelijk voor de controle en de veiligheid van het luchtruim tot 24.500 voet \(of +/- 7,5 km\)](#). De term ATM (*'Air Traffic Management'*) wordt gebruikt om te verwijzen naar het geheel van systemen en diensten die als doel hebben een optimaal beheer van het luchtverkeer te verzekeren. Om te beantwoorden aan zijn opdracht is Skeyes ook verantwoordelijk voor de infrastructuur voor het verzamelen, het behandelen en het overdragen van de noodzakelijke gegevens (bv. meteorologische gegevens, toegestane vliegzones). Tegelijkertijd houdt het DGLV (Directoraat-generaal Luchtvaart), dat deel uitmaakt van de FOD Mobiliteit en Vervoer, zich [bezig met het nationale beleid inzake burgerluchtvaart](#), waarbij de internationale en Europese wettelijke voorschriften nageleefd worden. De exploitanten van professionele drones moeten zich tot het DGLV richten om onder andere specifieke vrijstellingen te verkrijgen op het koninklijk besluit voor het gebruik van RPAS (bv. voor het vliegen in een gecontroleerde zone).

Naast deze instellingen [werden er ook professionele federaties opgericht](#). De *Belgian Drone Federation* is belast met het verdedigen van de belangen van alle bedrijven en organisaties die actief zijn in de onbemande luchtvaart. Ze informeert haar leden over de ontwikkelingen op het vlak technologie en wetgeving [D1]. Ze heeft met name een belangrijke rol gehad bij de [uitwerking van het koninklijk besluit dat momenteel het gebruik van drones in België regelt](#). Op de website van de *Belgian Drone Federation* vindt men een oplistijng van de leden volgens hun beroepssector (dienstverlening, consultancy, verzekeringen ...). Daarnaast bestaan er twee regionale clusters die ondersteuning willen bieden aan de dronese sector: ['EUKA' voor Vlaanderen en 'SkyWin' voor Wallonië](#). Hun opdracht bestaat erin om de ontwikkeling van de sector te stimuleren door middel van actieve communicatie met hun leden, de organisatie van evenementen of het deelnemen aan initiatieven op het vlak van onderzoek en ontwikkeling.

## 6.2 REGLEMENTAIRE OMKADERING

### 6.2.1 WAAROM HET DRONEGEBRUIK REGLEMENTEREN?

Drones kunnen heel wat voordelen bieden aan de industrie en het bedrijfsleven in het algemeen, maar [een omkadering voor hun gebruik is onmisbaar](#). De eerste evidente reden is de noodzaak om de veiligheid van het luchtruim te verzekeren en alle mogelijke risico's op materiële en lichamelijke schade te beperken (zie afbeelding 60A, p. 54).

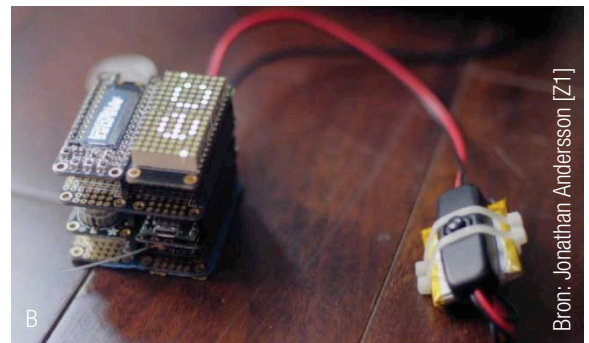
Het overvliegen van personen is een gevoelig punt, aangezien zelfs een drone van minder dan één kilogram al aanzienlijke blessures kan teweegbrengen in geval van neerstorting of een rechtstreekse botsing. Daarnaast moet men ook rekening houden met het risico op botsingen met andere objecten in het luchtruim. De moderne drones, zelfs deze die bestemd zijn voor het grote publiek, [zijn immers gemakkelijk in staat om hoogten te bereiken die vergelijkbaar zijn met deze van traditionele luchtvaartuigen](#): helikopters, vliegtuigen, ulm's of luchtballonnen. In de nabijheid van luchthavens ligt dit risico natuurlijk hoger. Het is dus volstrekt begrijpelijk dat [drones niet kunnen ontsnappen aan de wetten die het luchtruim regelen](#).

Vermits een drone vanop afstand bestuurd wordt, [bestaat er altijd een risico op het verlies van de controle over het toestel](#). Als dit gebeurt, zal de drone in het beste geval stationair blijven vliegen in afwachting van nieuwe instructies. Bij meer onfortuinlijke afstandspiloten, kan de drone een gedrag vertonen dat veel minder goed voorspelbaar is. Hoewel er veiligheidsvoorzieningen bestaan in geval van signaalverlies, [zal de afstandspiloot zich nooit 100 % kunnen beschermen tegen materiële gebreken die het terugkrijgen van de controle over de drone verhinderen](#). Als dergelijke omstandigheden zich zouden voordoen, moet de afstandspiloot op een efficiënte en methodische manier kunnen ingrijpen om ernstige gevolgen te vermijden bij het eventuele neerstorten van de drone.

Een ander risico verbonden aan de besturing vanop afstand is de kwaadwillige overname van de controle door een derde partij. Een klein elektronisch toestel werd bv. ontwikkeld om bepaalde radiocommunicatiesystemen af te luisteren en om de controle



## 6. Situatie in België



Afb. 60 Voorbeelden van bedreigingen die aanleiding geven tot een reglementering op het gebruik van drones. A. Een drone die verstrikt is in een elektriciteitslijn. B. Een elektronisch toestel dat de controle kan overnemen van bepaalde drones ten koste van de afstandspiloot.

over de besturing terug over te nemen [Z1] (zie afbeelding 60B). Andere minder geperfectioneerde systemen kunnen simpelweg de voor de drone bestemde signalen verstoren, wat in het beste geval zal leiden tot een onvrijwillige landing.

Het overvliegen van zogenaamde 'gevoelige' sites zoals kerncentrales, militaire domeinen of grote industriële sites doet ook vragen rijzen. Naast de eventuele risico's op een opzettelijke aanval of een mogelijk vernietigende crash, kunnen beeldopnames ook problemen veroorzaken. Dit vormt de tweede grote redenen waarom het dronegebruik gereguleerd moet worden: het gaat om een technologie die makkelijk de privacy, de portretrechten en het recht op vertrouwelijkheid kan schenden.

### 6.2.2 HET KONINKLIJK BESLUIT IN BELGIË

In België zijn de RPA-vluchten (vanop afstand bestuurd vliegtuigen) opgenomen in een koninklijk besluit dat op 15 april 2016 gepubliceerd werd in het Belgisch Staatsblad. De Belgische regelgeving is gebaseerd op het centrale begrip van de **exploitatieklassen, die gedefinieerd worden op basis van het gebruikte type drone, maar ook op basis van het risico dat eraan verbonden is.**

Het recreatieve gebruik is van toepassing op drones met een maximale startmassa van minder dan 1 kg. Ze mogen uitsluitend voor niet-professionele doeleinden gebruikt worden en de afstandspiloot moet steeds onder de maximale vlieghoogte van 10 m vliegen en boven privéterrein blijven. Daarnaast kunnen we twee klassen onderscheiden voor professioneel gebruik:

- klasse 2 is bedoeld voor vluchten met een laag risico
- klasse 1 wordt opgedeeld in twee subklassen: klasse 1b voor vluchten met een matig risico en klasse 1a voor vluchten met een verhoogd risico.

Een vlucht zal tot klasse 2 behoren als de drone minder dan 5 kg weegt, een maximale vlieghoogte heeft van 45 m, 50 m verwijderd blijft van obstakels, buiten steden en dorpen blijft en dit zonder het overvliegen van personen of groepen van dieren. In alle andere gevallen zal men onder klasse 1 vallen.

De eisen die opgelegd worden aan iedere exploitatieklasse zijn uiteraard erg verschillend. Om een vlucht van klasse 2 uit te voeren, moet de dronegebruiker minstens 16 jaar zijn en houder zijn van **een attest van afstandspiloot** (dat uitgereikt werd na het volgen van een theoretische opleiding én het afleggen van een praktisch examen). Hij zal zijn drone bovendien moeten inschrijven bij het DGLV en hem moeten verzekeren voor burgerlijke aansprakelijkheid. De voorwaarden in klasse 1 zijn strenger. De dronegebruiker moet minstens 18 jaar zijn en **een bewijs van bevoegdheid als afstandspiloot behalen** (hij moet hiervoor geslaagd zijn voor zowel een theoretisch als een praktisch examen). Bovendien zal de persoon die verantwoordelijk is voor de exploitatie een **operationeel handboek** moeten bezitten, wat in feite een referentiedocument is met wettelijke waarde. Het handboek beschrijft o.a. de voorziene vluchttypes en de algemene procedures vóór, tijdens en na elke vlucht. Het bevat ook een formulier voor een risicoanalyse, zodat de verantwoordelijke voor elke missie kan bepalen of de vlucht onder klasse 1a of 1b valt. Het overvliegen van personen bijvoorbeeld vereist steeds een vlucht onder klasse 1a en bijgevolg een vergunningsaanvraag bij het DGLV voorafgaand aan de eerste exploitatie. Hierbij dient opgemerkt te worden dat quadcopters niet toegelaten zijn voor vluchten van klasse 1a waarbij personen overvlogen worden. De drone-exploitant moet dan noodzakelijkerwijs gebruikmaken van hexacopters of octocopters (zie § 2.2.2, p. 12).

De volgende vluchten blijven steeds verboden in alle gevallen:

- vluchten in gecontroleerde luchtruimen
- vluchten binnen een straal van 1,5 zeemijl <sup>(17)</sup> ( $\pm 3$  km) rond luchthavens en luchtvaartterreinen
- vluchten binnen een straal van 0,5 zeemijl ( $\pm 1$  km) rond helihavens
- vluchten in de buurt van elektrische en nucleaire installaties, gevangenissen, industriële complexen
- vluchten op een hoogte van meer dan 300 voet ( $\pm 90$  m)
- vluchten buiten het zichtbereik van de afstandspiloot of van één van de twee RPA-waarnemers (en dus ook nachtvluchten)
- vluchten waarbij personen of goederen vervoerd worden
- vluchten waarbij voorwerpen afgeworpen worden of producten verstoven worden
- vluchten waarbij een voorwerp gesleept wordt
- acrobatische vluchten of formatievluchten.

Dergelijke vluchten zijn alleen toegelaten mits een aanvraag tot afwijking door middel van een expliciete toelating afgeleverd door het DGLV.

In tabel 4 worden de voornaamste aspecten van de geldende wetgeving samengevat <sup>(18)</sup>. Op de website van het DGLV kan de lezer bovendien nog heel wat bijkomende informatie terugvinden [F1]. Alleen de buitenvluchten zijn onderworpen aan de regelgeving van het koninklijk besluit. Het DGLV heeft geen bevoegdheid op het vlak van vluchten binnenin in een gebouw. De dronegebruiker moet echter de wet naleven en vermijden dat andermans leven in gevaar gebracht wordt. De principes inzake portretrechten en privacy blijven uiteraard eveneens van toepassing.

Tabel 4 Beknopte samenvatting van de geldende wetgeving in België.

Gebruik	Recreatief	Klasse 2 (laag risico)	Klasse 1b (matig risico)	Klasse 1a (verhoogd risico)
Drone	Gewicht $\leq 1$ kg	Gewicht $\leq 5$ kg	Gewicht $\leq 150$ kg	
	De drone moet niet over een certificaat van overeenstemming beschikken			De drone moet over een certificaat van overeenstemming beschikken
	De drone moet niet geregistreerd worden	De drone moet geregistreerd worden bij het DGLV		
Afstandspiloot	Alle leeftijden	Minstens 18 jaar	Minstens 18 jaar	
	Geen opleiding vereist	Houder van een attest van afstandspiloot	Houder van een bewijs van bevoegdheid als afstandspiloot	
Vlucht	De vlucht vindt plaats buiten steden en dorpen Er wordt niet gevlogen boven dieren of personen			Vlucht in steden en dorpen mogelijk Overvliegen van dieren en personen mogelijk
	Maximale vlieghoogte = 10 m	Maximale vlieghoogte = 150 voet ( $\pm 45$ m)	Maximale vlieghoogte = 300 voet ( $\pm 90$ m)	
	De vlucht heeft geen commercieel of professioneel doel Alleen op privédoel	Professioneel gebruik mogelijk Overvliegen van openbaar domein mogelijk		
	Het DGLV moet niet geraadpleegd worden		Vlucht aangegeven bij het DGLV	Vlucht onderworpen aan de toestemming van het DGLV
Overige	Geen operationeel handboek vereist		De exploitant moet over een operationeel handboek beschikken	

<sup>(17)</sup> Een zeemijl komt overeen met 1.852 meter.

<sup>(18)</sup> Op het moment dat dit document werd opgesteld, werd er een nieuwe Europese verordening goedgekeurd die vanaf juli 2020 van kracht zal zijn. Concreet betreft het de EU n°2019/945 gedelegeerde verordening en de n°2019/947 uitvoeringsverordening die sinds 1 juli 2019 goedgekeurd werden met een overgangsperiode van 1 jaar.



## 6. Situatie in België

Zoals we kunnen vaststellen, vormt veiligheid een essentieel aspect bij het dronegebruik. We geven hieronder een overzicht van een aantal criteria waarmee men het veiligheidsniveau van een drone kan beoordelen:

- het aantal en de redundantie van de motoren (zie afbeelding 61): een drone van het type Y6 of X8 (zie § 2.2.2, p. 12) loopt minder risico op een volledig verlies van controle in geval van het niet functioneren van één van de motoren
- de elektronische redundantie en de interferentieweerstand: sommige professionele drones zijn uitgerust met meerdere exemplaren van vitale elektronische componenten
- de betrouwbaarheid van de batterij en van de afstandmeting
- de bestendigheid tegen weersinvloeden en extreme temperaturen: een drone kan bijvoorbeeld uitgerust worden met waterdichte motoren die ongevoelig zijn voor regen. De windweerstand is eveneens belangrijk voor bepaalde opdrachten
- het automatische gedrag en de automatische procedures in geval van signaalverlies tussen de drone en de afstandsbediening
- de detectie van hindernissen. Sommige drones zijn uitgerust met systemen voor de detectie van hindernissen binnen het vliegtraject van de drone, waardoor de hindernis automatisch ontweken kan worden. Deze detectoren kunnen in één richting werken (bv. naar de voorkant van drone) of in meerdere richtingen. De afstandspiloot moet uitermate waakzaam blijven wat deze systemen betreft en mag nooit een risicovol manoeuvre uitvoeren waarbij hij enkel en alleen op deze systemen vertrouwt.

Deze veiligheidscriteria zullen nog belangrijker zijn wanneer de drone groot en zwaar is.



Afb. 61 De redundantie van de motoren.

Naast het koninklijk besluit moet de aanbieder van de dronevlucht vanzelfsprekend de wet naleven. De wettelijke voorschriften kunnen bijvoorbeeld gekoppeld zijn aan het gebruikte materiaal. Zo is het maximale vermogen van de radiogolven die gebruikt worden om de drone te besturen en om de vanop afstand verzamelde gegevens te recupereren (bv. videofeedback) beperkt tot 100 mW en 25 mW op respectievelijk de frequenties 2,4 Ghz en 5,9 GHz. De exploitant moet tevens een wettelijke aansprakelijkheidsverzekering afsluiten voor de drone en moet de wetgeving inzake de privacy naleven.

# 7. ANALYSE VAN OBSTAKELS

Hoewel het gebruik van drones reële voordelen biedt, is het belangrijk om rekening te houden met een aantal serieuze hindernissen zijn die verbonden zijn aan het gebruik van drones op werf. We kunnen eerst een aantal algemene belemmeringen identificeren die gerelateerd zijn aan de erkenning van de technologie en de, al dan niet gerechtvaardigde, perceptie van bepaalde risico's met betrekking tot het gebruik of de implementatie van drones in de bedrijfswereld. Zelfs als men eenmaal overtuigd is van de technologie, blijven er nog een hele reeks meer specifieke praktische obstakels die kunnen opduiken bij de uitvoering van een missie.

## 7.1 ALGEMENE BELEMMERINGEN BIJ HET GEBRUIK VAN DRONES

Er zijn tal van redenen die een professional ervan kunnen weerhouden om drones te gebruiken. Enerzijds is een drone een potentieel erg 'bedreigende' technologie. Luchtfoto's roepen heel wat vragen op met betrekking tot de portretrechten en de bescherming van de privacy. Om conflicten te vermijden of vanuit een ideologisch principe, zullen sommigen dus instinctief geneigd zijn om zich af te zetten tegen deze technologie. Anderzijds wat de kennis van de technologie betreft, zijn er velen die simpelweg niet inzien hoe drones hun werk zouden kunnen optimaliseren. Er is dus nog veel werk op het vlak van opleiding en sensibilisering over de nieuwe digitale technologieën.

Het gebruik van drones is geen improvisatie en men heeft tijd om de nodige vaardigheden te verwerven die vereist zijn voor een optimale gegevensverwerking. Velen zullen er dus voor opteren om de vluchten en de aanlevering van de eindresultaten uit te besteden. Voor hen zijn de risico's natuurlijk beperkt. Ze zullen zich baseren op de knowhow van de aangestelde dienstverlener. Het is evenwel belangrijk om goed te definiëren wat men wil bereiken en hoe de resultaten benut zullen worden. Een slechte definiëring van de doelstellingen zal onvermijdelijk tot ontevredenheid leiden, waarvoor de drone-exploitant nooit verantwoordelijk gehouden kan worden. Zonder een optimaal gebruik van de eindresultaten, kan het moeilijk zijn om de kosten te rechtvaardigen die inherent zijn aan deze dienstverlening. Bovendien moeten we opmerken dat de grote hoeveelheid gegevens die potentieel geproduceerd kunnen worden door een drone, op een adequate manier beheerd moeten kunnen worden. Stel je een werf voor die opgevolgd wordt door middel van dagelijkse foto's die met behulp van een drone genomen worden. De verantwoordelijke zal al snel over meerdere gigabytes aan gegevens beschikken, die hij op een efficiënte manier moet kunnen archiveren. In de grootste ondernemingen kunnen deze behoeften op het vlak van strategische en operationele definiëring leiden tot de interne aanstelling van een expert, die specifiek belast wordt met de leiding voor de uitvoering van droneopdrachten.

Wanneer de droneopdrachten herhaald worden, kan het zinvol zijn om deze vaardigheden te integreren binnenin de organisatie of het bedrijf. Hieraan zijn evenwel aanzienlijke onmiddellijke kosten verbonden, die inherent zijn aan deze overgang (opleiding, aankoop van softwareprogramma's, onderhoud van databases ...). Deze kosten kunnen een grote hindernis vormen voor kleine ondernemingen, waarbij de investeringen op lange termijn het budgettaire evenwicht in gevaar kunnen brengen. Zelfs wanneer relatief goedkope<sup>(9)</sup> drones soms kunnen volstaan om de beoogde taken uit te voeren, mogen de operationele kosten, die soms zeer groot kunnen zijn, niet verwaarloosd worden. Men moet dus doordacht omgaan met de organisatie van het aanleren van dronevaardigheden in een bedrijf.

## 7.2 SPECIFIEKE OBSTAKELS TIJDENS DE UITVOERING VAN EEN OPDRACHT

In dit onderdeel worden de risico's voorgesteld waarmee de exploitant en de afstandspiloot geconfronteerd kunnen worden tijdens de uitvoering van opdrachten. Deze risico's zullen ingedeeld worden op basis van de uitvoeringsfasen van een opdracht.

Er bestaan meerdere soorten obstakels. Eerst zijn er de obstakels die betrekking hebben op de beheersing van het toestel, de mogelijkheden ervan en de naleving van het regelgevende kader. Daarnaast zijn er de obstakels die verband houden met de technologie op zich en met de intrinsieke beperkingen en eventuele tekortkomingen van de technologie. Ten slotte zijn er ook nog ongevallen of de uitzonderlijke gebeurtenissen die moeilijk te voorzien zijn.

---

<sup>(9)</sup> Met een budget van 2.000 € kan men reeds een performant toestel aanschaffen.

## 7. Analyse van obstakels

### Vorbereiding van de opdracht

Bij de voorbereiding van de opdracht is het van cruciaal belang dat er eerst een aantal taken uitgevoerd worden voordat men zich op het terrein begeeft. De dronegebruiker moet er zich in de eerste plaats van vergewissen dat hij **de einddoelstellingen van de voorziene vlucht goed begrijpt** en op basis hiervan moet hij een **vluchtplan** uitwerken. Idealiter moet hij de verwachte eindresultaten met de opdrachtgever bespreken, om een nauwkeurig lastenboek voor de opdracht te kunnen opstellen: de verwachte nauwkeurigheid van de 3D-opmeting is één van de criteria die schriftelijk vastgelegd moeten worden. Het vluchtplan wordt uitgewerkt aan de hand van een doorgedreven analyse van de betrokken site, waarbij men het voorwerp in kwestie en de positie ervan in de bredere ruimtelijke context moet identificeren, net als de zones die overvlogen kunnen worden vanuit wettelijk en praktisch standpunt. Ook de obstakels en de potentiële risico's moeten geïdentificeerd worden (inclusief gebouwen of aangrenzende terreinen). Hekken, palen, elektrische kabels en gsm-masten zijn enkele voorbeelden van obstakels die niet altijd identificeerbaar zijn op satellietbeelden. Een bezoek ter plaatse zal er meestal voor zorgen dat onaangename verrassingen vermeden worden! Het is tevens essentieel om op voorhand de luchtkaarten te raadplegen om te bepalen of de vliegzone onderworpen is aan specifieke bepalingen. Een afwijking op de regels voor RPAS-vluchten kan eventueel vereist zijn <sup>(20)</sup>. In dat geval kan alleen het DGLV een vliegvergunning uitreiken. Voor het begin van iedere opdracht moet de dronegebruiker er steeds voor zorgen dat hij over alle nodige vergunningen beschikt: van de eigenaar of van zijn vertegenwoordiger, van het DGLV als het om een opdracht van klasse 1a gaat, of van alle andere personen of entiteiten die een bevoegdheid uitoefenen over het overvlogen terrein.

Om de kwaliteit van de verzamelde gegevens te optimaliseren, kan de dronegebruiker een beroep doen op **tools die het mogelijk maken om de vlucht te automatiseren**. Hij zal de punten waarover de drone passeert, moeten ingeven in een gespecialiseerd softwareprogramma. Soms wordt zelfs het nemen van foto's geautomatiseerd. Bij fotogrammetrie is een dergelijke voorprogrammering om foto's te verzamelen uiterst relevant en het zorgt ervoor dat de kwaliteit van de hieruit voortvloeiende 3D-bestanden geoptimaliseerd wordt. De persoon die de punten ingeeft waarover de drone vliegt en waarop het fototoestel wordt ingeschakeld, moet evenwel de impact kennen van de parameters voor de beeldopname (bv. de fotografeerafstand, de overlappingsgraad tussen opeenvolgende foto's) op de precisie en de kwaliteit van de 3D-reconstructie. De planning van de automatische vlucht zal aangepast worden aan de criteria die in het bestek van de opdracht verduidelijkt worden.

Op de dag van de vlucht moet de dronegebruiker **de luchtvaartinformatie van die dag raadplegen** om zich ervan te vergewissen dat hij kan vliegen zonder de luchtvaartregels te schenden en zonder risico's te nemen met betrekking tot de weersvoorspelling. De term NOTAM ('*Notice To Airmen*') wordt gebruikt om samenvattende berichten aan te duiden die uitgaan van Skeyes. Iedere NOTAM geeft essentiële informatie omtrent de luchtvaartnavigatie (bv. tijdelijke activatie van een zone waarboven het verboden is om te vliegen).

De laatste fase voor het team op de grond bestaat uit het voorbereiden van het materieel dat nodig is voor de uitvoering van de opdracht en het controleren of alles goed werkt. Daarnaast mag men nooduitrusting [E1] nooit vergeten namelijk: brandblusser, gsm voor communicatie met de hulpdiensten en EHBO-materiaal.

### Vorbereiding van de vlucht ter plaatse

Eenmaal men ter plaatse is op de dag van de opdracht, moeten de afstandspiloot en zijn team eerst een aantal controles uitvoeren **om te bepalen of men de vlucht kan uitvoeren binnen de voorziene veiligheidsvoorwaarden**. Als de afstandspiloot de risicoanalyse niet zelf heeft uitgevoerd, zal hij moeten nagaan of zijn waarnemingen ter plaatse overeenkomen met datgene wat vermeld werd in de analyse. Hij moet eveneens alle checklists doorlopen die vastgelegd worden in het operationele handboek voor de voorbereiding van de vlucht. Hieronder zien we een aantal voorbeelden van situaties waarin de piloot moet beslissen om niet te vliegen:

- de klimatologische omstandigheden zijn niet geschikt (bv. wolken lijken dreigend, er staat te veel wind)
- het omgevingslicht is ongeschikt of te zwak (bv. mist)
- het visuele contact zal vanwege onvoorzien obstakels niet behouden kunnen worden gedurende de volledige duur van de geplande vlucht
- er is een risico op botsingen (bv. aanwezigheid van vogels)
- er is geen enkele plaats om veilig op te stijgen
- personen respecteren de vastgestelde veiligheidsperimeter niet.

Buiten deze duidelijke situaties is het vaak het 'zesde zintuig' van de afstandspiloot dat ervoor zal zorgen dat hij afziet van de uitvoering van de opdracht. Indien hij meent dat de vlucht niet mogelijk is in aangepaste omstandigheden, mag hij zich nooit laten beïnvloeden door om het even welke vorm van druk van buitenaf.

<sup>(20)</sup> De vaakst voorkomende afwijking is vliegen in een gecontroleerde zone.

Wanneer er aan de veiligheidsvoorwaarden voldaan wordt, zal het team moeten bepalen of de gegevens op optimale wijze verzameld kunnen worden. Te veel strijklucht bijvoorbeeld, kan de uiteindelijke kwaliteit van de fotogrammetrische reconstructie in gevaar brengen.

In veel gevallen moeten er voorbereidende werkzaamheden of bijkomende maatregelen genomen worden voordat de drone kan opstijgen. Het vaakst voorkomende voorbeeld is het **aanbrengen van richtpunten op verschillende plaatsen voor de referentiepunten van de 3D-modellen die gegenereerd zullen worden**. Voor deze handelingen is het soms nodig om toegang te hebben tot specifieke zones van een site of een gebouw. Alle toegangsautorisaties moeten natuurlijk op voorhand aangevraagd.

Zodra de voorwaarden voor een optimale gegevensverzameling vervuld zijn, zal de afstandspiloot de startzone en de eventuele veiligheidsperimeters moeten afbakenen. Hij zal zich ook duidelijk herkenbaar maken (zie afbeelding 62). De laatste stap is de controle van de goede werking van het materieel vóór en na het onder spanning brengen. Het is gangbaar dat hiervoor een gedetailleerde checklist gevolgd wordt, die opgenomen moet worden in het operationele handboek. Meer nog dan de fysieke en elektronische integriteit van het materieel, zal de ontvangstkwaliteit van het gps-sigitaal uiteraard gecontroleerd moeten worden.



Afb. 62 De piloot maakt zich duidelijk kenbaar tijdens de opmeting.

### Vlucht en uitvoering van de taken

Wanneer de vlucht wordt uitgevoerd in samenwerking met een RPA-waarnemer<sup>(23)</sup>, moet de kwaliteit van het radiocontact tussen de RPA-waarnemer en de afstandspiloot gecontroleerd worden alvorens op te stijgen. Indien nodig, zal het begin van de opdracht aan de betrokken personen gemeld worden (bv. de controletoeren als de vlucht plaatsvindt in een gecontroleerde zone). Bij gps-geassisteerde vluchten moet de afstandspiloot vervolgens net voor het opstijgen het 'Return-To-Home'-punt bepalen (zie § 3.4, p. 30), evenals de vlieghoogte van deze noodprocedure. Zodra de drone het luchtruim ingaat, moet de afstandspiloot controleren hoe de drone reageert op de verschillende bewegingscommando's. Als hij een anomalie vaststelt, moet de drone opnieuw aan de grond zetten en moet hij de oorsprong van het probleem proberen te achterhalen. Indien de drone normaal reageert op de instructies, kan de vlucht voortgezet worden volgens het vooropgestelde plan.

Tijdens de volledige duur van de vlucht moet de afstandspiloot iedere vorm van afleiding vermijden en zich concentreren op de uitvoering van zijn taken, zonder de gegevens met betrekking tot de telemetrie uit het oog te verliezen (batterijniveau, hoogte, snelheid ...). In het geval van een vlucht met dubbele besturing, waarbij een cameraman zich toelegt op de beeldopname, zal een goede coördinatie tussen deze twee operatoren van essentieel belang zijn. Wanneer het gaat om een automatische of deels automatische vlucht, moet de afstandspiloot de controle over de drone om het even welk moment kunnen overnemen indien de veiligheid van de operatie in het gedrang komt. Het operationele handboek moet eveneens vermelden welke manoeuvres er uitgevoerd moeten worden in geval van nood. De meeste gevreesde onregelmatigheid blijft het verlies van de volledige controle over de drone naar aanleiding van een zogenaamde 'fly away': de drone wijkt af van het voorziene traject zonder dat het mogelijk lijkt om de controle over de drone terug te krijgen. Als er geen oplossing gevonden wordt om de verbinding met de drone te herstellen, zal de afstandspiloot zeer snel moeten ingrijpen!

Het uitvoeren van de vlucht lijkt de moeilijkste stap te zijn. Wanneer de voorbereiding echter correct uitgevoerd werd, zullen de afstandspiloot en zijn collega's de hele operatie rustig kunnen uitvoeren. Indien er, ondanks een adequate voorbereiding, toch een ongeluk zou gebeuren, zal de afstandspiloot gepast moeten ingrijpen volgens de procedures die vastgelegd werden in het operationele handboek.

### Behandeling, beheer en gebruik van de gegevens

Net na de vlucht moet de afstandspiloot de *post-flight*-checklists doorlopen die voorzien zijn in het operationele handboek. Daarna moet hij de verschillende logboeken invullen. Bovendien is het aan te raden om de opmerkingen bij te houden die gemaakt werden tijdens de opdracht en die relevant zouden kunnen zijn om de kwaliteit van toekomstige opmetingen te verbeteren. Zolang hij zich op de site bevindt, kan de afstandspiloot ook de kwaliteit van de verzamelde gegevens controleren in functie van de beoogde doelstellingen.

<sup>(23)</sup> Een RPA-waarnemer is een persoon die bij de vlucht betrokken is en de afstandspiloot helpt om de handelingen veilig uit te voeren, meer bepaald door het visuele contact met de drone op geen enkel moment te verliezen.

## 7. Analyse van obstakels

Zodra hij terug op kantoor is, zal de dronegebruiker het materiaal natuurlijk gepast moeten opbergen. Voor de opslag van de batterijen moeten er bijzondere voorzorgsmaatregelen nageleefd worden, aangezien ze van nature erg ontvlambaar zijn. De drone-exploitant zal de perioden waarin het materieel niet gebruikt wordt, kunnen benutten om een gepast onderhoud en de noodzakelijke herstellingen uit te voeren.

Het moeilijkste deel van het werk na de vlucht is in feite de omzetting en het beheer van de verzamelde gegevens. Voor de opdrachten die gebaseerd zijn op het gebruik van fotogrammetrie, worden er enorm veel foto's verzameld en dit resulteert in zeer grote 3D-modellen. De archiveringsmodaliteiten van deze gegevens vormen dus een eerste aandachtspunt in de behandelingsfase. Een goede archivering zorgt ervoor dat de modellen gebruikt kunnen worden op verschillende momenten doorheen het hele project. De computerkracht die nodig is om 3D-modellen in hoge resolutie te ontwerpen en te bewerken is ook zeer aanzienlijk. De drone-exploitant mag de benodigde investeringen op het vlak van informaticamateriaal niet onderschatten. Zodra het ruwe 3D-model klaar is, worden er nabewerkingen uitgevoerd. Deze nabewerkingen zijn nodig om de eindresultaten te genereren en kunnen zeer specifieke vaardigheden vereisen. De modelleringsprocessen '*scan-to-BIM*'<sup>(22)</sup> bijvoorbeeld, zijn erg recent en het aantal doorgedreven opleidingen over dit onderwerp zijn zeer beperkt. Bij de start van een opdracht moet de exploitant steeds nagaan of hij over de geschikte middelen beschikt om te kunnen beantwoorden aan de vraag van de opdrachtgever.

In laatste instantie moeten de eindresultaten overgemaakt worden aan de persoon die ze zal gebruiken. De modaliteiten voor deze overdracht moeten in principe duidelijk vastgelegd worden in het lastenboek van de opdracht. Het is dan ook aan te raden dat de drone-exploitant dit uitdrukkelijk benadrukt bij de start van de samenwerking met opdrachtgever om ontevredenheid te vermijden.

---

<sup>(22)</sup> Verwijst naar een BIM-modellering op basis van een puntenwolk.



## 8. TOEKOMSTPERSPECTIEVEN

De drone-gerelateerde technologieën zullen aanzienlijk blijven evolueren in de loop van de volgende jaren. Wat de op de drone gemonteerde apparatuur betreft, zullen [de miniaturisatie en de democratisering van de elektronica zich verder blijven ontwikkelen](#). Hierdoor zal de integratie van meerdere sensoren op eenzelfde platform steeds gebruikelijker worden voor efficiëntere opmetingen en inspecties. De drones zullen eveneens [meer autonomie krijgen, niet alleen vanuit energetisch standpunt, maar vooral dankzij hun toegenomen intelligentie \(artificiële intelligentie\)](#). De drones zullen in staat zijn om zelfstandige beslissingen te nemen, met als doel de productiviteit van de opdracht te optimaliseren of een maximale vliegveiligheid te verzekeren. Ze zullen ook actiever ingezet worden op werven. Sommige onderzoeken focussen ook op gecoördineerde en autonome vluchten van meerdere toestellen; we spreken dan van echte ‘dronezwermen’ die zeer snel een specifieke opdracht zouden kunnen uitvoeren. Momenteel blijft vliegen in groep voornamelijk beperkt tot kunstvluchten of militaire testen.

Naast de evolutie op het vlak van de ‘hardware’, zullen de softwareprogramma’s er ongetwijfeld voor zorgen [dat de professional beter begeleid wordt bij de uitvoering van opdrachten en het beheer van de verkregen gegevens](#). Hoewel de integratie van drones in het BIM-proces nog in zijn kinderschoenen staat, mogen we een aanzienlijke verbetering verwachten van de interoperabiliteit tussen BIM-softwareprogramma’s en softwareprogramma’s voor 3D-opmetingen met drones. [De fotogrammetrische softwareprogramma’s zouden op hun beurt ook moeten blijven evolueren en zich meer specialiseren](#). Er zullen betere tools geïntegreerd worden voor de vluchtplanning en deze zouden preciezere resultaten moeten opleveren, die bovendien eenvoudiger te gebruiken zijn door de actoren op het terrein. De tools en de platformen voor het gegevensbeheer zijn eveneens van essentieel belang, aangezien de drone in de eerste plaats gegevens produceert. De overvloed aan informatie zal in de komende jaren ongetwijfeld aanzienlijke uitdagingen met zich meebrengen.

Iedere technologische evolutie, of het nu over hardware of software gaat, kan uiteraard pas in een industriële sector geïntegreerd worden [als het regelgevende kader zich ertoe leent](#). De beperkingen die opgelegd worden door de reglementering, zullen moeten evolueren in functie van de vragen vanuit de industrie. Het huidige verbod met betrekking tot BVLOS-vluchten (*‘Beyond Visual Line of Sight’*) of het transport van voorwerpen worden door sommige actoren als erg beperkend ervaren. [De opening van bepaalde luchtvaartzones op lage hoogte voor dronevluchten](#) binnen de momenteel verboden perimeters (bv. rond luchthavens), is ook iets wat langverwacht is. Daarentegen zal het toenemende aantal actieve drones de overheden er ongetwijfeld toe verplichten om de controles op te drijven om de veiligheid en privacy van eenieder te garanderen. Op lange termijn zal het misschien noodzakelijk zijn om specifieke infrastructuren te voorzien om de vlucht van verschillende toestellen te coördineren.

Vandaag de dag bestaat er geen twijfel over het nut van drones voor de bouwsector. Het is evenwel moeilijk om met zekerheid te weten hoe de professionals zich deze technologie eigen zullen maken. Het zal immers cruciaal zijn om over de gepaste opleidingskanalen te beschikken, zelfs al wordt ons beloofd dat de toestellen uiterst autonoom zijn en ze steeds nauwkeurigere opmetingen zullen opleveren. De digitale revolutie berust bovendien op het idee van een steeds grotere informatie-uitwisseling tussen de verschillende actoren binnen de bouwsector. Deze uitwisselingen houden in dat niet alleen de samenwerking tussen de verschillende bouwprofessionals versterkt wordt, maar ook de samenwerking tussen professionals en drone-exploitanten. Het beroep van ‘dronepilot’ zal pas zin hebben als het gericht is op de maximalisatie van de kwaliteit van de verzamelde gegevens en hun relevantie met betrekking tot de daadwerkelijke vragen uit de bouwsector. Het is in ieder geval zeker dat drones hun plaats zullen hebben op de werven van de toekomst (zie afbeelding 63).



Afb. 63 Drones zullen ongetwijfeld hun plaats hebben op de werven van de toekomst.

# NUTTIGE LINKS

## REGLEMENTERING EN LUCHTVAARTCONTROLE

### **Skeyes**

<https://www.skeyes.be/nl>

### **Directoraat-generaal Luchtvaart**

<https://mobiliteit.belgium.be/nl/luchtvaart/drones>

### **Droneguide (Skeyes)**

<https://www.skeyes.be/nl/diensten/droneguide/>

### **Drone Rules**

[dronerules.eu/nl/](http://dronerules.eu/nl/)

### **European Aviation Safety Agency (Europees Agentschap voor de veiligheid van de luchtvaart)**

<https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>

## FEDERATIES

### **Belgian Drone Federation**

<https://www.belgiandronefederation.be/nl>

### **Skywin (Waalse dronecluster)**

<http://www.skywin.be/>

### **EUKA (Vlaamse dronecluster)**

<https://euka.org/>

# LITERATUURLIJST

## A

Audronis T.

A1 Building multicopter video drones. Birmingham, Packt Publishing, 2014.

Australian Certified UAV Operators

A2 What do we call them: UAV, UAS or RPAS? Online geraadpleegd: <http://www.acuo.org.au/industry-information/terminology/what-do-we-call-them/> (23/08/2017).

## B

Beul M., Krombach N., Zhong Y., Droeschel D., Nieuwenhuisen M. en Behnke S.

B1 A High-performance MAV for Autonomous Navigation in Complex 3D Environments. Denver, Proceedings of International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015.

## C

CargoCopter project

C1 CargoCopter project. Online beschikbaar: <http://cargocopter.be/blog.html> (geraadpleegd op 25/07/2018).

Custers B.H.M, Oerlemans J.J. en Vergouw S.J.

C2 Het gebruik van drones. Meppel, Boom Lemma uitgevers, 2015.

## D

de Saint Martin A.

D1 Les drones, la nouvelle révolution technologique. Brussel, Les études du Centre Jean Gol, 2015.

Dubois S., Vanhellemont Y. en de Bouw M.

D2 3D-opmetingen in het BIM-tijdperk. Vastleggen van de realiteit in hoge resolutie. Brussel, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, 2018.

Dudka T.

D3 Photogrammétrie et modélisation 3D à partir d'images drone au sein de TPLM-3D. Mémoire de soutenance du diplôme d'Ingénieur INSA. Strasbourg, Institut national des sciences appliquées, 2015.

## E

Espace Drone

E1 Manuel théorique du pilote RPAS. Corbais, Espace Drone, 2017.

## F

FOD Mobiliteit en Vervoer

F1 Drones. Beschikbaar online: <https://mobiliteit.belgium.be/nl/luchtvaart/drones> (geraadpleegd op 03/08/2018).

## G

Geerts L. en Dubois S.

G1 Nut van drones voor de dakwerker. Brussel, WTCB, WTCB-Dossiers, nr. 2, Katern 4, 2018.

## H

House of Lords (Verenigd Koninkrijk)

H1 Civilian Use of Drones in the EU. Londen, House of Lords European Union Committee, 2015.

## J

Jobard R.

J1 Les drones. Fonctionnement, télépilotage, applications, réglementation. Paris, Eyrolles, 2e édition, 2016.

## L

Lamaille G., Lahaye J. en Vandenberghe T.

L1 L'utilisation du scanning laser 3D pour la documentation *as-built* des projets BIM. Brussel, La revue scientifique des instituts supérieurs industriels libres francophones belges (ISILF), vol. 30, 2016.

## N

Navigant Consulting

N1 Drones in construction – 2015 Survey Report. Rockville, WPL Publishing Co., 2016. Online geraadpleegd: [https://www.navigant.com/-/media/www/site/insights/construction/2016/con\\_dronesinconstructionq12016\\_tl\\_0216\\_final.pdf](https://www.navigant.com/-/media/www/site/insights/construction/2016/con_dronesinconstructionq12016_tl_0216_final.pdf) (16/10/2018).

## V

Verdie Y., Lafarge F. en Alliez P.

V1 LOD generation for urban scenes. ACM Transactions on Graphics, Association for Computing Machinery, vol. 30, 2015.

## Z

Zaffagni M.

Z1 Icarus, le boîtier qui peut pirater n'importe quel drone en plein vol. Online beschikbaar: <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/drone-icarus-boitier-peut-pirater-nimporte-drone-plein-vol-65063/> (geraadpleegd op 03/08/2018).

Verantwoordelijke uitgever: Olivier Vandooren  
WTCB, Lombardstraat 42  
1000 Brussel



## Onderzoekt • Ontwikkelt • Informeert

Het WTCB vormt al meer dan 55 jaar hét wetenschappelijke en technische middelpunt van de bouwsector. Het Centrum wordt hoofdzakelijk gefinancierd met de bijdragen van 95.000 aangesloten Belgische bouwbedrijven. Dankzij deze heterogene ledengroep zijn bijna alle bouwberoepen vertegenwoordigd en kan het WTCB bijdragen tot de kwaliteits- en productverbetering.

### Onderzoek en innovatie

Een industrietak zonder innovatie is als cement zonder water. Het WTCB heeft er daarom voor gekozen om zijn onderzoeksactiviteiten zo nauw mogelijk te laten aansluiten bij de noden van de sector. De Technische Comités die de WTCB-onderzoeken sturen, zijn samengesteld uit bouwprofessionelen (aannemers en experts) die dagelijks op het terrein staan.

Met de hulp van verschillende officiële instanties stimuleert het WTCB bedrijven om steeds verder te innoveren. De begeleiding die we aanbieden, is afgestemd op de actuele maatschappelijke uitdagingen en van toepassing op diverse domeinen.

### Ontwikkeling, normalisatie, certificering en goedkeuring

Op vraag van overheden of privébedrijven werkt het WTCB ook mee aan diverse ontwikkelingsprojecten (contractresearch). Zo is het Centrum niet alleen nauw betrokken bij de activiteiten van de nationale (NBN), Europese (CEN) en internationale (ISO) normalisatie-instituten, maar ook bij instanties zoals de Belgische unie voor de technische goedkeuring in de bouw (BUTgb). Al deze projecten geven ons meer inzicht in de bouwsector, waardoor we sneller kunnen inspelen op de noden van de verschillende bouwberoepen.

### Informatieverspreiding en steun aan bedrijven

Om de kennis en ervaring die op deze manier vergaard wordt op een efficiënte manier te delen met de bedrijven uit de sector, kiest het Centrum resoluut de weg van de informatica. Onze website is zo opgesteld dat elke bouwprofessioneel met slechts enkele muisklikken de gewenste WTCB-publicatiereeksen of bouwnormen terugvindt.

Goede informatieverspreiding kan echter niet enkel elektronisch. Een persoonlijk contact is vaak nog steeds de beste aanpak. Jaarlijks organiseert het Centrum ongeveer 750 informatiesessies en themadagen voor bouwprofessionelen. Ook de aanvragen voor onze dienst Technisch Advies blijven binnenstromen, met meer dan 18.000 verstrekte adviezen per jaar.

### MAATSCHAPPELIJKE ZETEL

Lombardstraat 42, B-1000 Brussel  
Tel. 02/502 66 90  
Fax 02/502 81 80  
E-mail : [info@bbri.be](mailto:info@bbri.be)  
Website: [www.wtcbe.be](http://www.wtcbe.be)

### KANTOREN

Lozenberg 7, B-1932 Sint-Stevens-Woluwe  
Tel. 02/716 42 11  
Fax 02/725 32 12

- Technisch advies – Publicaties
- Beheer – Kwaliteit – Informatietechnieken
- Ontwikkeling – Valorisatie
- Technische goedkeuringen – Normalisatie

### PROEFSTATION

Avenue Pierre Holoffe 21, B-1342 Limelette  
Tel. 02/655 77 11  
Fax 02/653 07 29

- Onderzoek en innovatie
- Vorming
- Bibliotheek

### BRUSSELS GREENBIZZ

Dieudonné Lefèvrestraat 17, B-1020 Brussel  
Tel. 02/233 81 10