



De technologische stroomversnellingen van morgen

Johan DE LAERE

Kolonel SBH Johan DE LAERE startte zijn militaire loopbaan in 1979 als leerling van de Koninklijke Militaire School, in volle Koude Oorlog. Hij werd dan ook in 1984 als tankist naar het 4e regiment Lansiers in Soest (BRD) gestuurd. Nadien was hij werkzaam in wapenscholen, bij het toenmalige KHID en in verschillende staven, inclusief op het VN hoofdkwartier in New York en het NAVO hoofdkwartier in Brussel. Hij is afgestudeerd aan het US Army Command and General Staff College in Leavenworth en het Defense Resources Management Institute in Monterrey. Zijn specialiteit ligt vooral in operaties en inlichtingen. Kolonel De Laere verrichte buitenlandse operaties in de Balkan (Kroatië en Kosovo), Libanon en Congo, waar hij als laatste missiehoofd de EU missie EUSEC leidde. Tot mei 2022 werkte hij als Strategic Foresight Analyst voor Technologie bij ACOS Strat, waar hij de impact bestudeerde van de disruptieve technologieën die in een razendsnel tempo op ons afkomen.

La technologie évolue de plus en plus vite et plusieurs technologies considérées comme futuristes et utopiques il y a peu arrivent bientôt à maturité et trouveront leur application dans tous les domaines de notre économie, de notre vie sociale, de notre santé mais aussi dans le domaine militaire. Ces technologies permettront au cours des vingt prochaines années un grand saut en avant au niveau de l'efficacité de nos machines, médicaments, ordinateurs, communications et armements, changeant par là même les règles du jeu lors des opérations militaires. Il s'agit principalement des technologies suivantes : la technologie des batteries et en matière de génération d'électricité, les technologies quantiques (informatisation, détection et crypto/communication), l'intelligence artificielle (au travers des mégadonnées et de la robotisation), la nanotechnologie (avec la création de nouveaux matériaux), la technologie laser ainsi que la motorisation et la navigation atmosphériques hypersoniques.

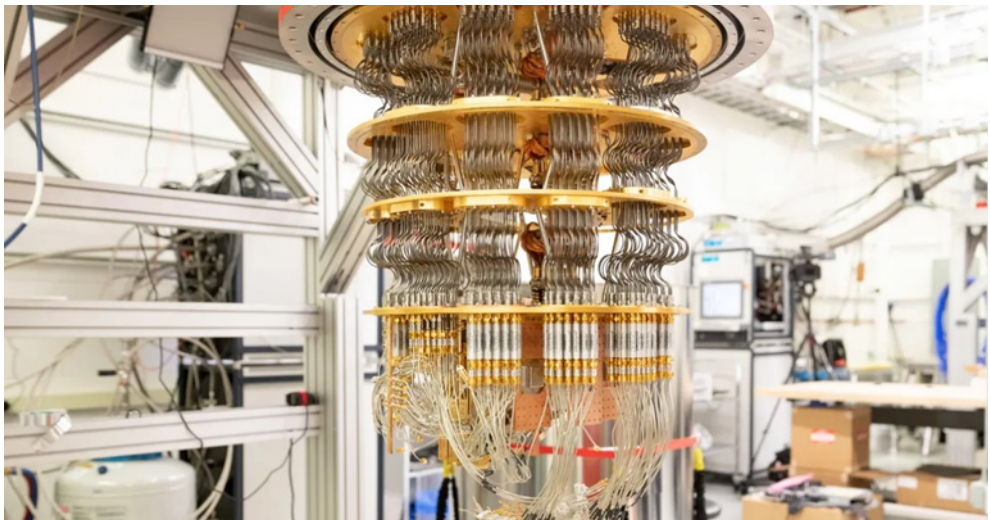
Depuis au moins la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'Occident était le moteur des avancées technologiques. Aujourd'hui, le changement est à l'œuvre et nous risquons même d'être dépassés dans certains domaines, surtout par la Chine qui montre des ambitions inquiétantes dans le domaine technologique. La Chine veut, par exemple, se profiler comme une nation pilote dans le domaine quantique, car elle voit l'énorme potentiel disruptif que ce domaine présente tant au niveau économique que militaire. Il sera primordial pour les nations occidentales de s'investir pleinement dans ces technologies afin de maintenir leur position géopolitique, économique et militaire. Parmi elles, la Belgique devra jouer son rôle pour tenir son rang. De nombreuses opportunités se présenteront, qu'il ne faudra pas hésiter à saisir.

De technologische stroomversnellingen van morgen

De trein van de technologische evolutie rijdt alsmaar sneller. Futuristische denkbeelden van gisteren zijn vandaag al werkelijkheid. De drang naar meer levenscomfort en een hoger economisch rendement enerzijds en de druk van geopolitieke en klimatologische dreigingen anderzijds verplichten ons permanent op zoek te gaan naar nieuwe technologieën en technieken voor een efficiëntere werking van onze productieprocessen, een betaalbare, levensreddende en -verlengende geneeskunde en een veiligere wereld. Westerse bevolkingsspiramides die door veroudering onder druk staan dwingen ons ook om meer te automatiseren in alle domeinen.

Wat vandaag zo uniek maakt, is het bijna gelijktijdig volwassen worden van een aantal technologieën die als baanbrekend en grensverleggend worden bestempeld en die zullen resulteren in toepassingen die ons zullen toestaan onze middelen een pak efficiënter in te zetten. Nieuwe batterijtechnologie en kernfusie zullen de volledige elektrificatie van onze maatschappij mogelijk maken. Li-Ionbatterijen hebben behoorlijk bijgedragen tot de miniaturisatie van computers in de vorm van smartphones. In een volgende fase van de batterijtechnologie zullen we veiligere, meer performante (qua capaciteit, herlaadtijd en levensduur) en gemakkelijker te integreren batterijen ontwikkelen die wagens een langere en meer betrouwbare autonomie zullen geven. Ze zullen ook als krachtbron kunnen dienen voor elektrische vliegtuigen en de robotisering versnellen van 3D taken (*dirty, dull, dangerous*). De

verwachting is dat tegen 2050 de algemene elektriciteitsbehoefte zal verdrievoudigen; met windmolens en zonnepanelen alleen, zullen we er dus niet geraken. Waterstof, het veelbesproken alternatief voor fossiele brandstoffen, komt niet in pure vorm in de natuur voor en dient ook geproduceerd te worden. Dankzij de 6e generatie van experimentele kernfusiereactoren die in 2025 online komen is het einde van de lange tunnel eindelijk in zicht. De netto energieopbrengst zou voor het eerst positief zijn. De industrie wacht zelfs niet op de officiële sprong voorwaarts en is nu al bezig met de ontwikkeling van een drietal nieuwe types van TOKAMAK's voor commercieel gebruik.



Googles Sycamore Quantum-computer, gekoeld op -270°C , opgehangen in een cylinder

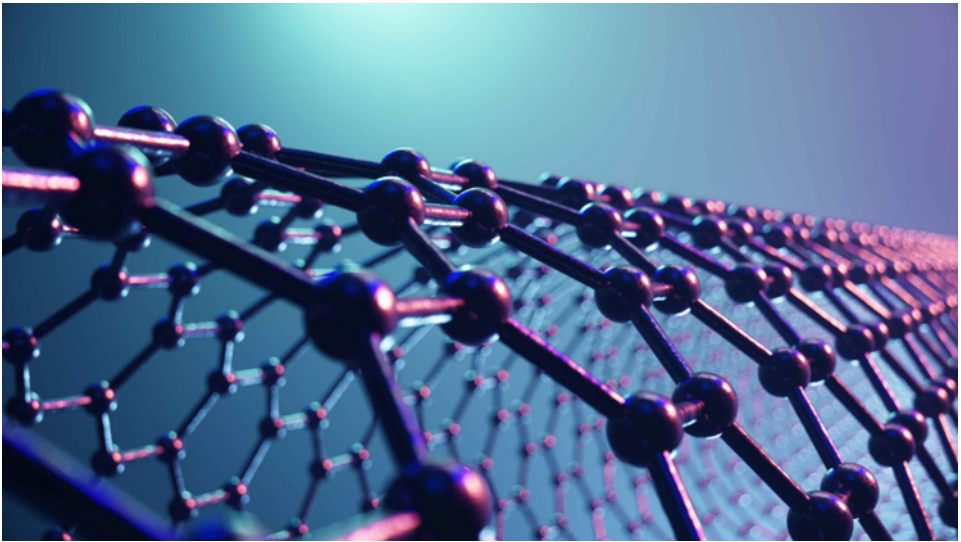
De meest disruptieve technologie zal waarschijnlijk kwantum zijn. Kwantumtechnologie omvat verschillende domeinen: computeriseren (en simulatie), detectie en communicatie (inclusief cryptografie). De kracht van een klassieke computer wordt grotendeels bepaald door het aantal transistoren die bits kunnen genereren in de kern(en). Een bit is nul óf één. Een kwantumcomputer gebruikt superpositie of waarschijnlijkheidsmetingen van gedragingen van fotonen, ionen of elektronen om qubits te genereren. Een qubit¹ is een samenstelling van waarschijnlijkheden van de

¹ De rekenkracht waarmee een kwantumcomputer kan werken wordt bepaald door het aantal qubits. Verschillende qubits kunnen gecombineerd worden in matrix-berekeningen om op die manier kwantumtoestanden te kunnen genereren die exponentieel toenemen naarmate het aantal qubits vermeerderd ($y = 2^x$, waarbij y het aantal kwantumtoestanden en x het aantal qubits is).

waarden 0 én 1. Momenteel kunnen meerdere experimentele computers al 50 qubits combineren. Tegen 2023 rekenen zowel China als de Verenigde Staten echter op een 1000 qubit computer. De rekenkracht zou hierdoor miljoenen keer groter zijn dan die van de krachtigste klassieke computer: ideaal voor het breken van codes, beheren van slimme steden (smart cities), betalingsnetwerken en megasensornetwerken, en simulaties om de werking van nieuwe geneesmiddelen na te gaan of aerodynamische frames te ontwikkelen voor vliegtuigen. Een kwantumcomputer in laptopversie is nog niet voor morgen gezien de strenge voorwaarden waaraan de werkomgeving moet voldoen. Een ander kwantumfenomeen, de verstrengeling van fotonen, vormt dan weer de basis voor kwantumcommunicatie. Licht dat men splitst in een kristal en in twee verschillende richtingen uitstraalt, behoudt een onderlinge band. Verandert men de samenstelling van de ene bundel op locatie x, dan vinden automatisch en gelijktijdig dezelfde veranderingen plaats in de andere bundel op locatie y. Ongemerkt intercepteren wordt hierdoor onmogelijk. Dit maakt deze technologie uitermate geschikt voor het uitwisselen van cryptosleutels, het versleutelen van berichten en betaalverkeer – en op termijn misschien het hele internetverkeer. China is nu al aan het experimenteren om deze techniek te gebruiken voor de communicatie tussen de drones die deel uitmaken van een intelligente zwerm, zodat ze niet meer gevoelig zijn voor storingen. Detectie is een ander kwantumdomein. Het gaat om minuscule sensoren die uiterst gevoelig zijn en waarmee onder meer stealthvliegtuigen hun comparatieve voordeel volledig zouden verliezen of GPS navigatie zou kunnen vervangen worden door een passieve vorm op basis van detectie van de plaats in het zwaartekrachtveld van de aarde.

Artificiële intelligentie (AI) is een ander domein dat samen met big data enorme mogelijkheden biedt. Voorlopig hebben we het nog over zwakke (*narrow*) AI of het aanleren van welomschreven taken, uitvoerbaar in een welomschreven omgeving met eventueel een feedbacklus om te leren uit fouten en analoge, toekomstige fouten te vermijden. Er is kritiek op het feit dat dergelijke systemen geen oog hebben voor de algemene context en niet over gezond verstand beschikken. Op termijn zullen we echter evolueren naar sterke (*wide*) AI die daar wel aandacht voor heeft en werkt met vage logica (*fuzzy logic*) algoritmes om de minst slechte of beste oplossing te kunnen kiezen in de omstandigheden op dat moment. Op langere termijn zal er ook super AI zijn, waarbij AI misschien zelf uitvindingen zal doen. Maar zover zijn we nog helemaal niet. AI is een van de belangrijkste componenten van de robotisering. Momenteel heerst er nog terecht een ethische aversie om de beslissingsbevoegdheid

te delegeren naar een machine in de beslissingscyclus voor het inzetten van wapens. *Human out of the loop* is momenteel nog niet aanvaardbaar, *human in or on the loop* daarentegen wel. Een andere rem voor militaire toepassingen is het voorlopig ontbreken van voldoende big data om patroonherkenningsalgoritmes (*pattern recognition*) te voeden bij het leerproces.



Wondermateriaal grafeen

Nanotechnologie en wondermaterialen zijn andere baanbrekende technologieën waarbij men de eigenschappen van materialen bewerkt op nanoschaal (100 nm of 1/10 000 van een mm). Nanotechnologie en kwantumdetectie zijn verwant. Mogelijke toepassingen zijn besmettingssensoren die ingebakken zitten in de verpakking van voedingswaren, sensor voor vitale functies (*vital signs*) die ingeweven zitten in de stof van uniformen, medische oplossingen voor blinden en gehandicapten, maar ook voor responsiviteit van (militaire) exoskeletten². Wondermaterialen zijn materialen met uitzonderlijke eigenschappen: de meest vernoemde is grafeen in 2D structuur, een soort atomair kippengaas van koolstofatomen dat 200 keer sterker, zes keer lichter is dan staal en drie keer beter elektriciteit geleidt dan koper, maar

² Exoskeletten zijn extern gedragen, elektromechanische hulpmiddelen om de draagkracht, de snelheid en het uithoudingsvermogen van de mens een boost te geven. Het eerste toepassingsgebied is de medische wereld; de militaire toepassingen zijn momenteel maar afgeleiden.

moeilijk industrieel te produceren is. Met grafeen zouden hoogspanningsleidingen bijvoorbeeld veel kleiner worden en grotere afstanden kunnen overbrugd worden met veel beperktere verliezen. Uniformen met grafeen zouden betere ballistische bescherming bieden zonder extra gewicht toe te voegen. Grafeen is ook bruikbaar in de vorm van nanobuisjes in (scheeps)verven om veel beter te weerstaan aan bacteriologische afbraakprocessen of in fullereen of bolletjesformaat om televisie en telefoonschermen plooibaar te maken. Er wordt ook naar grafeen gekeken om batterijen performanter te maken en ervoor te zorgen dat oncologische medicijnen doelgerichter tumoren kunnen neutraliseren.



Hypersonic glider en cruise missile

Een andere brandend actuele technologie is de hypersonische technologie, omdat het grensverleggende verbeteringen oplevert voor intercontinentale en kruisraketten waardoor deze veel moeilijker zullen kunnen worden onderschept. Voor kruisraketten kijkt men naar hypersonische motoren of *scramjets*, motoren zonder bewegende delen die een vliegend voorwerp een “stoot” kunnen geven zodat het de snelheid van mach 5 overschrijdt. Waterstof wordt in een verbrandingskamer gespoten en vermengd met zuurstof uit de atmosfeer. Om efficiënt te werken moet de lucht al

een supersonische snelheid hebben als ze de verbrandingskamer binnenkomt. Om die reden worden *scramjets* meestal gelanceerd door een boosterraket en mogelijk door een vliegtuig. Ze zijn beperkt manoeuvreerbaar en moeten onder het plafond van 100 000 voet blijven om voldoende zuurstof uit de atmosfeer aan te zuigen. De perifere wrijvingstemperatuur van 2000 °C waaraan het frame moet kunnen weerstaan, vereist speciale composieten en ook hittebestendige elektronische componenten. Hypersonische kruisraketten worden ook carrier killers genoemd. Naast de *scramjets* zijn er ook hypersonische zweefsystemen (*gliders*) die geen motor hebben, maar op 100 km hoogte gelanceerd worden door een raket tegen een snelheid van mach 20 om zo terug te keren naar de aarde en hierbij ook beperkt te kunnen manoeuvreren. Manoeuvreren vermindert echter hun snelheid. Deze terugkeervoertuigen (*re-entry vehicles*) worden als gevaarlijke vervangers van de intercontinentale kernraketten beschouwd, vanwege hun onvoorspelbare baan en hun capaciteit om de Westerse onderscheppingssystemen te ontwijken. China en Rusland beschikken beide al over zowel de *glider* als de *scramjet*. Het Westen hinkt minstens vijf jaar achterop en is volop bezig met een inhaalbeweging.



Laserkanon aan boord van de US Arleigh Burke destroyers

Lasertechnologie is al lang gekend en wordt reeds langere tijd toegepast, maar de nieuwe fiberlaser die gebruikmaakt van optische vezels heeft de efficiëntie gevoelig verbeterd: voor eenzelfde vermogen zijn ze kleiner en lichter geworden en stellen ze veel minder eisen qua onderhoud. De toenemende dreiging van drones

die een kostenefficiënt defensief antwoord vereist, zorgt ervoor dat de fiberlaser steeds meer overwogen wordt als een gericht energiewapen (*directed energy weapon*), naast microgolfwapens. De VS installeert 150 en 600 kW lasers op hun nieuwe *Arleigh Burke destroyers*. Naast de *Iron Dome*, schakelt Israël ze in als Iron Beam om artisanale Palestijnse raketten die gelanceerd worden vanuit Gaza te onderscheppen. Een lasershot kost maximaal 5 dollar en is even efficiënt als de 100 000 dollar kostende luchtdoelraket tegen de Qassam raket van 1000 dollar. De rekening is snel gemaakt. Laserwapens bieden ook nog andere voordelen zoals geen nood hebben aan dure en gevaarlijk te stockeren munitie, ze zijn sneller op doel te brengen (*point and shoot*), er is geen risico op verblinding door mondingsvuur en ze zijn eenvoudiger te automatiseren (belangrijk bij zwermen drones). Slechte atmosferische omstandigheden kunnen een negatieve invloed hebben op de werking vanop lange afstand, maar ook hier wordt aan gewerkt. Zodra nieuwe performante batterijen beschikbaar zijn, zal de laser op termijn ook een alternatief bieden voor vuurwapens.

Disruptieve toepassingen

De besproken technologieën zullen in het militaire domein gecombineerd worden in nieuwe wapensystemen en netwerkomgevingen en zullen zorgen voor disruptieve effecten. De recente nieuwkomer – de drone – in al zijn vormen (lucht, oppervlakte, onderwater en land) is nu al een gamechanger, maar biedt nog veel meer mogelijkheden voor verbeteringen. Op het gebied van luchtdrones is China momenteel koploper. De Chinese firma DJI is nu ook zowat de “Apple” onder de kleinere onbemande luchtvaartuigen (*Unmanned Air Vehicles*, UAV). Performantere batterijen, efficiëntere AI, communicatie en navigatie die ongevoelig zijn voor storingen, moeilijkere detectie door miniaturisatie en een uitrusting met kleine en performantere sensoren zijn enkele van de voorbeelden uit een waaier van mogelijke verbeteringen. Alle grote platformen (schepen, tanks, bemande vliegtuigen) zullen er binnenkort over beschikken, eerst voor hun logistiek en beveiliging, daarna voor het richten en uiteindelijk voor het gevecht zelf. Bemande platformen zullen op termijn eerder mobiele hubs worden voor het aansturen van de drones die het echte gevecht zullen voeren. De ogen van piloten, schutters, brugofficieren zullen meer gericht zijn op een scherm dan op hun omgeving. Het nabije gevecht zal op termijn gevoerd

worden door drones en robots, en vanop afstand gevolgd en – enkel wanneer vereist – worden bijgestuurd door een mens, net zoals bij computersimulaties. Tactische acties gaan meer lijken op games. Geen wonder dus dat heel wat algoritmes kunnen ontleend worden aan de game-industrie, zoals de botsingsvermijding bij drones. Ook de infanterist zal meer de rol van “gamer” toebedeeld krijgen. Niet alleen zal hij geüpgraded worden met exoskeletten om zijn krachten en uithoudingsvermogen een boost te geven en met een *smartskin*-uniform om zijn gezondheidsstatus te kunnen opvolgen en zijn ballistische bescherming te verbeteren, maar hij zal ook de gevechtsrobots rond hem aansturen. Uitgerust met slimme lenzen zal aangevulde realiteit (*augmented reality*) ervoor zorgen dat hij “online” blijft zonder het zicht op zijn onmiddellijke omgeving te verliezen. De vraag rijst of we op termijn nog gewone infanteristen nodig zullen hebben. Zeker en vast, maar in veel kleinere aantallen. Toekomstige conflicten tussen voornamelijk “gelijke concurrenten” evolueren naar een conflict tussen machines en robots, al dan niet volledig of gedeeltelijk autonoom.

Het lijkt allemaal erg futuristisch, maar de benodigde technologieën naderen snel het stadium van maturiteit om toegepast te kunnen worden in nieuwe uitrusting. Het zal van belang zijn om de innovatietrein niet te missen. Anders dreigt men snel een last te worden voor de geallieerden die er wél op zijn gesprongen. Het zal nog wel even duren vooraleer deze nieuwe technologie optimaal doordringt en verwerkt wordt in militaire gebruiksdoctrines. Vechten met en tegen drones en robots in een compleet genetwerkte omgeving is een behoorlijke verandering. Daartegen was de introductie van de tank in 1916 klein bier, terwijl de ontwikkeling van de optimale gebruiksdoctrine daarna nog eens 24 jaar lang op zich liet wachten. Er zijn ook ethische bezwaren die tot vertraging zullen leiden: verblindende laserwapens zijn officieel verboden, maar anderzijds zijn ze vrijwel het enige kostenefficiënte en best discriminerende instrument om de sensoren van drones en satellieten uit te schakelen. Killer drones die autonoom hun doel kunnen uitkiezen en tot actie overgaan zorgen vooral in het Westen momenteel terecht voor ethische aversie. De gebruikte AI is nog niet rijp voor foutloze resultaten en een machine kan men niet aansprakelijk stellen voor “incidenten”. Dit kan echter evolueren en bovendien heeft de vijand ook een stem, mocht zijn keuze resulteren in een markant comparatief voordeel op het slagveld.

Operationele en organisatorische gevolgen



Combat bots, robots naast de infanterist

Dat al deze technologieën een grote impact zullen hebben op de manier waarop we in de toekomst militaire operaties zullen uitvoeren staat buiten kijf. De vraag is alleen hoe we ons hier het best op voorbereiden. De voordelen van deze technologieën zijn indrukwekkend. De chaos op het slagveld zal beter onder controle blijven dankzij betrouwbare, kwantumbeheerde sensornetwerken gekoppeld aan kwantumcommunicatielijnen die een grotere hoeveelheid data zullen kunnen verwerken zonder gestoord te worden. AI en de introductie van onbemande X-voertuigen (X = lucht, grond, oppervlakte en onderwater) die voluit zullen profiteren van AI en performante sensoren zullen kwantitatief mankracht uitsparen (het Verenigd Koninkrijk rekent op 15%), maar kwalitatief meer eisen stellen bij de rekrutering van soldaten. Door gevaarlijke taken maximaal te delegeren aan robots zullen er ook minder doden en gewonden vallen bij legers die de moderne technologieën toepassen. Nanotechnologie zal de gevechtsgedragingen van soldaten ook een betere ballistische beschermingsgraad bieden en komaf maken met de gebruikelijke nadelen. Preciezere wapensystemen zullen ook beter het onderscheid kunnen maken tussen strijders en niet-strijders en minder collaterale schade veroorzaken. Wanneer vuurwapens vervangen zullen worden door gerichte energiewapens of laserwapens, zullen de gewenste terminale effecten ook beter ingeschat kunnen worden. Doden zal maar een van de opties zijn.



Drone-zwerm gelanceerd vanaf missile

Er zullen ook nieuwe uitdagingen en risico's ontstaan. Gezien de grotere transparantie op het slagveld en de robotisering zal men sneller tactische beslissingen moeten kunnen nemen, van het niveau soldaat tot en met de tactische commandant in zijn commandopost. Het risico op *hinein kommandieren* van bovenaf zal er niet kleiner op worden. Het belang van goed geoliede sensornetwerken zal voor een oorlog op zich zorgen waarin cyber en de ruimte een voornamelijk rol zullen spelen om het informatieoverwicht te garanderen. De soldaat zal tactisch goed overweg moeten kunnen met zijn robots, oog moeten hebben voor de resterende autonomie en informatiedata van allerlei aard snel moeten kunnen opvragen, verzamelen en verwerken. Er zal dus nog heel wat getraind moeten worden vooraleer de combinatie mens/robot optimaal zal functioneren. De derde dimensie wordt de gevaarlijkste met de komst van de killer drones. Alle huidige gevechtsplatformen zowel te land, ter zee of in de lucht zullen een efficiënt (laser)afweersysteem moeten integreren in hun bewapening om aanvallen van zwermen drones of *loitering munitions* (vrij vertaald als "rondhangende munitie") te kunnen overleven. Doordat alle wapensystemen digitaal gestuurd of geconnecteerd zullen zijn, zal cyberveiligheid een zeer belangrijke rol spelen. Aangezien AI nu ook ontwikkeld wordt voor computervirussen, mogen we ons verwachten aan nooit geziene disruptieve computeraanvallen.

Boodschap voor de Belgische Defensie

Voor de Belgische Defensie zal het erop aankomen om de trein van de technologische vooruitgang niet te missen en de juiste prioriteiten te leggen. Alle operationele gebieden (lucht, land, zee, cyber en ruimte) blijven in de toekomst relevant en belangrijk. Cyber zal nog aan belang winnen en alle inspanningen voor de beveiliging van netwerken en cryptografie zijn aan te bevelen. Omdat ook in het cyberdomein

de aanval echter de beste verdediging blijft en vergelding noodzakelijk is voor een geloofwaardige afschrikking, zijn er ook offensieve cybercapaciteiten nodig. België zou vooral kunnen bijdragen op het gebied van de cryptografie, aangezien het zowel het EU als het NAVO kwartierhuisvest en instaat voor hun communicatie. Een tweede aanbeveling bestaat erin een grotere rol te spelen op het gebied van de robotisering in het algemeen en de ontwikkeling van drones en robots in het bijzonder. België zou ook R&D onderzoek kunnen financieren voor de ontwikkeling van afweerwapens tegen UAV's. De Chinese (en Israëlische) minidrones die met behulp van een granaatwerper met 50 tegelijk gelanceerd kunnen worden vanuit de laadbak van een standaard pick-uptruck en nu in allerijl door meerdere landen worden nagebouwd laten uitschijnen dat ook terroristen hier weleens interesse voor zouden kunnen tonen.

Recente conflicten tonen aan dat de technologie niet stilstaat en dat ze ook de weg vindt naar wapensystemen met disruptief potentieel. Voor militaire partnerschappen als de NAVO zal het uiterst belangrijk zijn dat haar lidstaten beschikken over een modern en interoperabel arsenaal aan middelen om solidair en beslissend te kunnen optreden tijdens de operaties van morgen. Het Westen is bovendien niet overal meer technologisch toonaangevend of heer en meester. Vooral China dreigt het militaire schaakbord grondig te veranderen. Willen we relevant blijven en onze invloed laten gelden, dan zullen we moeten investeren in onze toekomst, inclusief de wapens waarmee we onze vrijheid, democratische waarden, economie en soevereiniteit morgen zullen moeten beschermen.

Trefwoorden: disruptief, technologie, toekomst