

Chaque méthode a sa zone

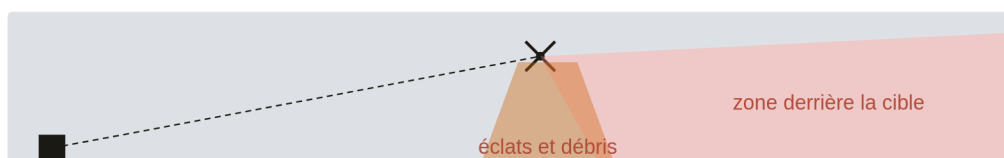
MACIEJ M. KASPEREK

Les débats sur la neutralisation des drones s'arrêtent d'ordinaire à la portée et au coût du tir. Or chaque méthode réclame un espace où son emploi est sûr, et c'est cet espace qui fixe ses vraies limites.

Au-dessus d'un aérodrome militaire ou d'un champ de tir vide, le choix d'un moyen antidrone est surtout un calcul d'efficacité. Au-dessus d'une raffinerie, d'une centrale ou d'un quartier résidentiel surgit une seconde question, souvent plus importante que la première. Qu'advient-il de l'obus qui manque sa cible, du faisceau qui poursuit sa route, ou du signal qui parvient là où il ne devrait pas ? Chaque méthode répond autrement, et chacune exige une zone différente où ne devraient se trouver ni personnes, ni aéronefs, ni électronique sensible. Ce texte compare ces zones et ne donne des chiffres que là où un fabricant, une armée ou une autorité les a publiés. Là où de telles données manquent, il le dit franchement.

Canon

zone derrière la cible



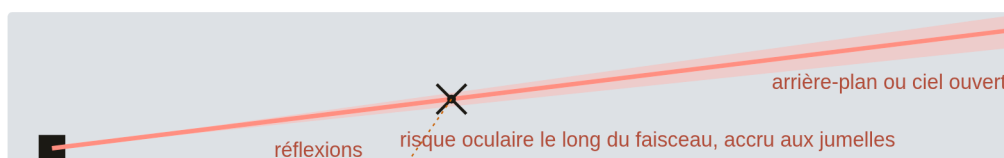
Filet, courte portée

zone sous le point



Laser

zone le long du faisceau



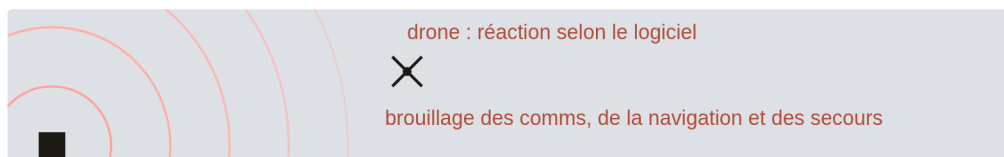
Micro-ondes

zone autour de l'émetteur



Brouillage

zone dans le spectre radio



Les zones qu'exige chacune des cinq méthodes, en schéma sans échelle. Le carré est l'émetteur, la croix un drone, la couleur une zone sans personnes.

CANONS : LA ZONE DERRIÈRE LA CIBLE

Un canon antiaérien tire des obus qui, après un raté, poursuivent leur course et retombent loin derrière la cible. Les munitions programmables modernes éclatent près du drone et projettent un nuage de sous-projectiles en tungstène, ce qui augmente la chance de toucher. Les sous-projectiles et les éclats retombent tout de même au sol, et un obus manqué de munition ordinaire va plus loin encore. Une zone se forme donc derrière et sous la cible, qui doit rester vide ou contrôlée. Au-dessus d'un site industriel, cela est particulièrement difficile à garantir. Dans son avis sur le projet tchèque, la Confédération de l'industrie de la République tchèque a jugé un tir cinétique au-dessus d'une usine extrêmement dangereux.

La guerre en Ukraine offre une étude de cas. Les systèmes Gepard et Skynex fournis par l'Allemagne, avec des munitions programmables de 35 mm, y abattent des drones de type Shahed. La portée efficace du Skynex est estimée à environ quatre kilomètres, et les estimations publiques du coût d'un engagement diffèrent d'un facteur de plusieurs. L'estimation attribuée au fabricant est d'environ quatre mille euros. Des analyses indépendantes donnent de quelques milliers à plus de trente mille dollars, selon le nombre d'obus tirés. La taille de la zone derrière la cible pour de tels systèmes en zone bâtie n'est pas publiée.

FILETS ET MOYENS DE COURTE PORTÉE : LA ZONE SOUS LE POINT DE NEUTRALISATION

Les lanceurs de filets, les armes à canon lisse et les drones intercepteurs ont une petite zone derrière la cible. Leurs projectiles sont lents et ne vont pas loin, mais cela se paie d'une fenêtre d'engagement courte. La cible doit être arrêtée dans les dernières dizaines ou centaines de mètres, et sous le point de neutralisation retombe le drone capturé ou détruit.

L'exemple le mieux documenté est le lanceur britannique SkyWall100. Le fabricant donne une portée de cent mètres et un rechargement de huit secondes. Le projectile libère un filet, et un parachute dépose le drone capturé au sol. Les pièces du projectile descendent sous le parachute même après un raté. La zone sous le point de neutralisation est donc petite et contrôlée. Un drone volant à vingt mètres par seconde couvre pourtant cent mètres en cinq secondes. Il n'y a donc pas de temps pour un second tir.

LASERS : LA ZONE LE LONG DU FAISCEAU

Le faisceau d'un laser de forte puissance qui manque poursuit sa route jusqu'à rencontrer un obstacle. Sur tout ce trajet il menace les yeux. En sécurité laser, ce danger se mesure par la distance nominale de risque oculaire, au-delà de laquelle l'exposition ne dépasse plus l'exposition maximale permise. Pour qui regarde aux jumelles, cette distance est plus grande. Un faisceau réfléchi par une surface brillante, comme une vitre, une carrosserie ou le drone lui-même, crée d'autres zones de risque. Les règles de champ de tir exigent donc que le faisceau se termine sur un arrière-plan qui l'arrête, dans une zone contrôlée. L'espace aérien au-dessus est lui aussi contrôlé.

Le laser a aussi des limites qui ne sont pas une zone mais réduisent son emploi. Selon le service de recherche du Congrès américain et le Government Accountability Office, la pluie et le brouillard raccourcissent la portée et dégradent le faisceau. Le laser n'est donc pas une arme par tous les temps. Il traite une cible à la fois, réclame plusieurs secondes sur elle et plusieurs autres pour déplacer le faisceau. Le Protocole IV à la Convention sur certaines armes classiques interdit les lasers conçus pour causer une cécité permanente. Pour l'emploi des autres lasers, il oblige les États à prendre toutes les précautions possibles.

Un exemple documenté publiquement est le laser britannique DragonFire. Selon le ministère britannique de la Défense, l'énergie d'un tir coûte environ dix livres. Le système atteint une pièce d'une livre à un kilomètre. Lors d'essais en 2025, il a abattu des drones volant jusqu'à 650 kilomètres à l'heure. La distance nominale de risque oculaire pour de tels lasers, ainsi que leur portée par mauvais temps, ne sont pas divulguées.

MICRO - ONDES : LA ZONE AUTOUR DE L'ÉMETTEUR

Une arme à micro-ondes de forte puissance ne vise pas un point unique. Elle irradie une tranche d'espace et brouille ou endommage l'électronique de tout ce qui s'y trouve. C'est son plus grand atout, car elle agit sur de nombreuses cibles à la fois. C'est aussi sa plus grande limite. Le Government Accountability Office relève qu'une arme à faisceau large agit sur tous les appareils de la zone, amis comme ennemis. Autour de l'émetteur et dans l'axe du faisceau s'impose donc une zone d'exclusion pour les personnes, les animaux et l'électronique, celle des voisins comprise.

Une arme à micro-ondes peut fonctionner selon deux modes qui diffèrent par la zone. Brouiller l'électronique d'un drone réclame un champ plus faible, et la brûler définitivement un champ de plusieurs ordres de grandeur supérieur. Le mode de brouillage peut agir à des intensités peu éloignées de celles admises pour l'homme, sa zone est donc petite. Le mode destructeur réclame une zone incomparablement plus grande.

Les normes de protection de la santé montrent d'où vient cette zone. Pour les fréquences de 2 à 300 GHz, l'ICNIRP en 2020 et le règlement polonais de 2019 fixent 10 W/m² pour la population. Les lignes directrices de l'ICNIRP admettent 50 W/m² pour les personnes exposées au travail, et les deux valeurs sont moyennées dans le temps. Pour les impulsions brèves, les règles polonaises admettent une densité de puissance crête jusqu'à mille fois le niveau de référence. Ces normes protègent contre l'échauffement des tissus et sont écrites pour l'homme, et un animal dans le faisceau relève du même mécanisme. En mode destructeur, l'intensité dans le faisceau est plusieurs fois supérieure à ces normes.

Les micro-ondes pénètrent profondément dans le corps et peuvent chauffer les tissus avant que les thermorécepteurs de la peau ne réagissent. Des foyers d'échauffement locaux peuvent endommager les tissus internes, et les implants métalliques et dispositifs implantés, tels que les stimulateurs cardiaques, peuvent les accentuer. L'effet dépend de l'intensité et de la durée d'exposition. Au-dessus d'une zone civile, le risque collatéral du mode destructeur est trop grand. Une zone est donc nécessaire, interdite aux personnes, avec des procédures coupant l'émission dès que quelqu'un y pénètre.

L'étude de cas est le système américain Leonidas, dont le fabricant a publié les résultats d'essais d'août 2025. Selon eux, le système a mis hors service les 61 drones, dont un essaim de 49 par une seule impulsion. Le fabricant n'a pas donné la portée, indiquant seulement que la nouvelle version a plus du double de la portée de la version de 2022. Le rayon de la zone d'exclusion pour les personnes n'est pas davantage publié.

BROUILLAGE : LA ZONE DANS LE SPECTRE RADIOÉLECTRIQUE

Le brouillage n'a ni zone derrière la cible ni zone le long d'un faisceau au sens ordinaire. Il a en revanche une zone dans le spectre radioélectrique, où il perturbe aussi ce qu'il ne devrait pas. L'exposé des motifs du projet tchèque le dit. Un brouillage maladroit peut paralyser les réseaux mobiles, les services de secours et la navigation par satellite. Le projet tchèque ne lève donc pas l'interdiction en vigueur du brouillage. La

Pologne l'autorise depuis juillet 2026, mais sous conditions. L'exploitant doit d'abord déclarer les équipements avec leurs fréquences, leur puissance, la position des antennes et les secteurs d'action, puis signaler chaque usage. Le ministre de l'intérieur ou le ministre de la défense peut en ordonner l'arrêt. L'Office tchèque des télécommunications a relevé dans la consultation un point clé. Le brouillage ne fonctionne pas contre les drones guidés par fibre optique, les drones autonomes ni les drones à navigation inertielle. Ce qu'il advient d'un drone brouillé dépend de son logiciel, la zone sous lui ne peut donc être fixée d'avance.

COMPARAISON

MÉTHODE	ZONE DERRIÈRE LA CIBLE	ZONE AUTOUR DE L'ÉMETTEUR	ESPACE AÉRIEN OU SPECTRE RADIOÉLECTRIQUE	ZONE SOUS LE POINT DE NEUTRALISATION	CIBLES À LA FOIS	EXEMPLE OUVERT
Canon à munition programmable	oui, grande	non	contrôle de l'espace aérien	oui, éclats et débris	par rafales, l'un après l'autre	Skynex, portée env. 4 km, coût d'un engagement estimé d'env. 4 000 euros à plus de 30 000 dollars
Filets et moyens de courte portée	petite	non	localement	oui, petite et contrôlée	une, puis rechargement	SkyWall100, portée 100 m, rechargement 8 s
Laser de forte puissance	oui, le faisceau poursuit	non	oui, risque pour les yeux et l'aviation	oui, débris	une, plusieurs secondes par cible	DragonFire, env. 10 livres d'énergie par tir
Micro-ondes de forte puissance	dans l'axe du faisceau	oui, personnes, animaux, électronique	oui	oui, débris	plusieurs à la fois	Leonidas, 61 drones sur 61, portée non divulguée
Brouillage	non	oui, dans le spectre radioélectrique	oui, communications et navigation	dépend de la réaction du drone	plusieurs, s'ils réagissent au brouillage	Pologne, obligation de déclarer les équipements et chaque usage

LA PORTÉE N'EST QUE LA MOITIÉ DE LA QUESTION

Aucune de ces méthodes n'est la meilleure quel que soit le lieu. Le canon porte loin mais réclame du vide derrière la cible. Le laser est bon marché par tir mais réclame un air clair et un arrière-plan qui arrête le faisceau. Les micro-ondes neutralisent tout un essaim mais réclament une zone sans personnes ni électronique d'autrui. Les moyens de courte portée ont les plus petites zones mais laissent le moins de temps. Le brouillage ne détruit rien mais perturbe tout autour et ne fonctionne pas sur les drones qui n'écotent rien.

En ville et en atmosphère explosible, la question de la zone est donc aussi importante que celle de la portée. Le projet de loi tchèque exige de l'exploitant une analyse de risques. Les zones décrites plus haut en sont une part naturelle, quelle que soit la méthode retenue.

Déclaration d'intérêts. L'auteur est le fondateur de Silesian Advanced Systems, une équipe qui développe un système antidrone autonome et prépare la création d'une société. Le système appartient à la famille des moyens cinétiques de courte portée, l'auteur a donc un intérêt commercial dans le sujet. Tous les chiffres sur les systèmes et les normes proviennent des sources ouvertes énumérées ci-dessous.

SOURCES

1. Confédération de l'industrie de la République tchèque. 2026. Avis sur le projet de loi relatif à la protection des infrastructures critiques contre les drones. 20 août. <https://www.spcr.cz/pripominky-k-navrhu-zakona-o-ochrane-kriticke-infrastruktury-pred-drony>
2. Congressional Research Service. 2024. « Department of Defense Directed Energy Weapons: Background and Issues for Congress. » R46925. Washington, DC: Library of Congress. https://www.everycrsreport.com/files/2024-07-11_R46925_4c1e5a38ad3d6906a3ea03e0972e08d8979659f3.html
3. Congressional Research Service. 2024. « Navy Shipboard Lasers: Background and Issues for Congress. » R44175. Washington, DC: Library of Congress. https://www.everycrsreport.com/files/2024-12-19_R44175_edf2efc1093bf152f3a5189af495aa29fa452e3c.html
4. Défense, ministère de la (Royaume-Uni). 2025. « Boost for Armed Forces as New Laser Weapon Takes Down High-Speed Drones. » Communiqué, 20 novembre. <https://www.gov.uk/government/news/boost-for-armed-forces-as-new-laser-weapon-takes-down-high-speed-drones>
5. Drone Warfare. 2026. « Counter-UAS Kinetic Defeat: Costs, Systems, Combat Data. » 6 août. <https://drone-warfare.com/counter-uas/drone-defeat/>
6. Epirus. 2025. « Epirus' Leonidas High-Power Microwave Defeats 49-Drone Swarm, 100% of Drones Flown at Live-Fire Demonstration. » Communiqué, 10 septembre. <https://epirusinc.com/press-releases/epirus-leonidas-high-power-microwave-defeats-49-drone-swarm-100-of-drones-flown-at-live-fire-demonstration>
7. Euromaidan Press. 2025. « Rheinmetall's Skynex Guns Now Used to Wipe Out Russian Shaheds from Ukrainian Skies. » 13 juillet. <https://euromaidanpress.com/2025/07/13/rheinmetalls-skynex-guns-now-used-to-wipe-out-russian-shaheds-from-ukrainian-skies-video-shows-flawless-kills/>
8. GAO (U.S. Government Accountability Office). 2023. « Science & Tech Spotlight: Directed Energy Weapons. » GAO-23-106717. <https://www.gao.gov/products/gao-23-106717>
9. ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). 2020. « Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). » Health Physics 118 (5): 483–524. <https://www.icnirp.org/en/publications/article/rf-guidelines-2020.html>
10. Ministre de la santé de la République de Pologne. 2019. Règlement du ministre de la santé du 17 décembre 2019 sur les niveaux admissibles de champs électromagnétiques dans l'environnement. Journal des lois 2019, position 2448. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20190002448>
11. Ministère de l'intérieur de la République tchèque. 2026. Projet de loi modifiant certaines lois afin de renforcer la résilience des entités d'infrastructure critique face aux systèmes sans pilote, avec exposé des motifs. eKLEP KORNDW7JRL1U, 21 juillet. <https://odok.gov.cz/portal/veklep/material/KORNDW7JRL1U>
12. Norsk luftvern. 2026. « American vs. European Short Range Air Defense. » 22 mars. <https://norskluftvern.com/2026/03/22/american-vs-european-short-range-air-defense/>
13. Office tchèque des télécommunications, Service d'information de sécurité, ministère de la Défense. 2026. Observations sur le document KORNDW7JRL1U. eKLEP, août. <https://odok.gov.cz/portal/veklep/material/pripominky/KORNDW7JRL1U/>

14. OSHA (Occupational Safety and Health Administration). s.d. « Radiofrequency and Microwave Radiation: Health Effects. » Washington, DC. <https://www.osha.gov/radiofrequency-and-microwave-radiation/health-effects>
15. OpenWorks Engineering. 2018. « SkyWall Net Capture: Capture Drones, Protect Assets. » Brochure produit. http://openworksenvironment.com/wp-content/uploads/2019/02/openworks_skywall-net-capture_2018_brochure.pdf
16. Protocole IV. 1995. Protocole relatif aux armes à laser aveuglantes (Protocole IV à la Convention de 1980 sur certaines armes classiques). Vienne, 13 octobre. <https://ihl-databases.icrc.org/en/ihl-treaties/ccw-protocol-iv/article-1>
17. République de Pologne. 2026. Loi du 29 mai 2026 modifiant la loi sur la gestion de crise et certaines autres lois. Journal des lois 2026, position 815. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20260000815/T/D20260815L.pdf>
18. Royal Navy. 2025. « £316m Deal for Royal Navy's First Laser Weapon after Successful High-Speed Drone Trials. » 20 novembre. <https://www.royalnavy.mod.uk/news/2025/november/20/20251120-dragonfire-trials>
19. TIME. 2016. « This Bazooka Is Designed to Take Down Unwanted Drones. » 4 mars. <https://time.com/4247645/bazooka-captures-drones-skywall-100/>
20. United24 Media. 2025. « Germany's Drone Killer in Action: Ukraine Deploys Skynex to Destroy 7 Russian Shaheds Overnight. » 12 juillet. <https://united24media.com/latest-news/germanys-drone-killer-in-action-ukraine-deploys-skydex-to-destroy-7-russian-shaheds-overnight-9842>
21. US Department of Defense. 2011. Department of Defense Handbook: Range Laser Safety. MIL-HDBK-828B. http://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/NSWC_Dahlgren/Laser/mil-hdbk_828B.pdf
22. Walling, Eileen M. 2000. « High Power Microwaves: Strategic and Operational Implications for Warfare. » Occasional Paper 11. Maxwell AFB, AL: Center for Strategy and Technology, Air War College. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA425472.pdf>

Version imprimable, version en ligne à jour : <https://silesianadvanced.systems/analyses/zones/?lang=fr>