

ATELIER PRATIQUE

Construisez votre propre récepteur ADS-B et mettez votre ciel sur la carte

Tout ce que contient ce cours peut se vérifier depuis votre propre fenêtre. Cet atelier vous dit exactement quoi acheter, comment assembler le tout, comment installer le feeder Dataero sur un Raspberry Pi et comment voir les avions que vous entendez apparaître sur radar.dataero.eu, au crédit de votre station. Aucune expérience de la radio, de l'électronique ou de Linux n'est nécessaire. Comptez 100 à 150 euros, un après-midi, et une fenêtre avec vue sur le ciel.

Apprendre - <https://radar.dataero.eu/fr/learning/workshop> 2026-10-22

SOMMAIRE

AVANT DE COMMENCER Ce que vous allez construire, et pourquoi cela en vaut la peine

UNE SEULE IMAGE Comment les pièces s'assemblent

LISTE D'ACHATS Quoi acheter, pièce par pièce

OÙ LA PLACER Placer l'antenne : hauteur, ciel et câble

ÉTAPE 1 Assembler le matériel

ÉTAPE 2 Préparer le Raspberry Pi

ÉTAPE 3 Installer le feeder Dataero

ÉTAPE 4 Passer en direct, et associer votre récepteur

ÉTAPE 5 Régler, et comprendre ce que vous voyez

QUAND ÇA NE MARCHE PAS Dépannage

ENSUITE Le garder en marche

POUR UNE CLASSE OU UNE FAMILLE Faire du récepteur un projet

BIENVENUE Ce que reçoivent les contributeurs, et ce que la carte reçoit de vous

AVANT DE COMMENCER

Ce que vous allez construire, et pourquoi cela en vaut la peine

Un récepteur, ce sont quatre choses à la file : une antenne qui attrape l'onde de 1090 MHz, une clé USB qui transforme l'onde en nombres, un petit ordinateur qui décode les nombres en messages, et une connexion internet qui transporte les positions décodées jusqu'à Dataero. Dès l'instant où le feeder tourne, chaque avion que votre antenne entend est dessiné sur la carte en direct de **radar.dataero.eu**, pour tout le monde, avec votre station nommée comme source. Rien dans la chaîne n'émet : vous ne faites qu'écouter, et écouter est légal en Belgique, dans toute l'Union européenne et dans la plus grande partie du monde (si vous vivez ailleurs, vérifiez les règles de votre pays sur les appareils de réception).

Le cours a expliqué pourquoi le système fonctionne ; le récepteur vous permet de le tester. Vous mesurerez l'horizon radio du chapitre 7 sur de vrais avions, vous verrez la loi de l'inverse du carré dans la colonne de la puissance du signal, vous regarderez le taux de messages changer avec l'heure de la journée, et vous comparerez une antenne de fenêtre à une antenne de toit. Pour une famille, c'est le projet qui termine l'histoire ; pour une classe, c'est un instrument permanent sur le toit qui produit de vraies données toute l'année.

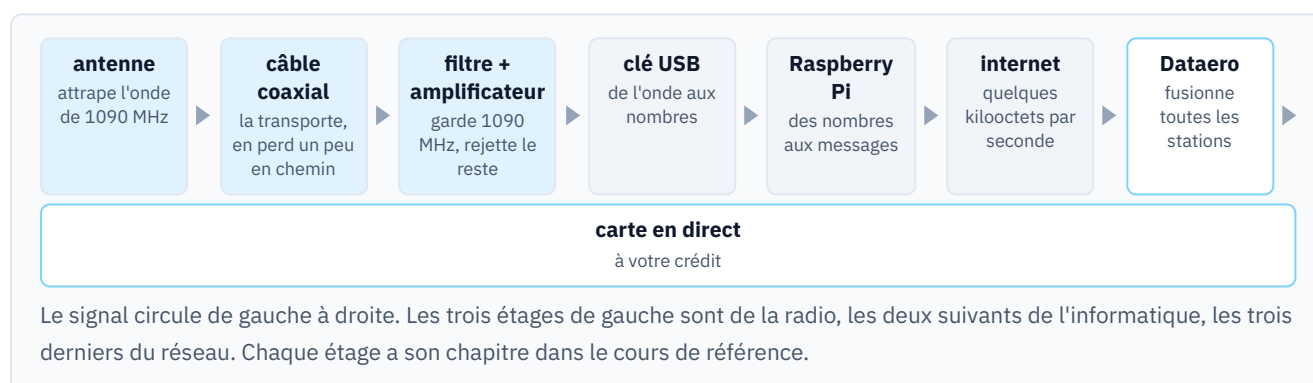
Il fait aussi de vous un **contributeur**. La carte de Dataero est construite entièrement à partir de récepteurs hébergés par des bénévoles, des aéroports et des écoles, et la carte vaut ce que valent ses écouteurs. Un contributeur obtient, gratuitement, ce qu'un visiteur n'a pas : un tableau de bord de ce que sa station entend, une carte de couverture de son coin de ciel en deux et trois dimensions, 365 jours d'historique des vols, et une place au classement face à toutes les autres stations du réseau. Rien n'est facturé, rien n'est signé, et le même récepteur peut continuer à alimenter tout autre réseau que vous utilisez déjà.

Temps, argent, compétences

Argent : 150 à 200 euros pour le montage de base, acheté neuf, 300 à 420 pour le montage avancé ; moins si vous possédez déjà un Raspberry Pi. **Temps** : un après-midi une fois les pièces arrivées - environ 30 minutes d'assemblage, 10 minutes pour préparer la carte mémoire, 10 minutes pour installer le feeder. **Compétences** : visser un connecteur, copier trois lignes dans un terminal. **Coût de fonctionnement** : le récepteur consomme 4 à 5 watts, environ 40 kWh par an, soit à peu près 10 à 15 euros d'électricité.

UNE SEULE IMAGE

Comment les pièces s'assemblent



L'antenne est l'endroit où se joue la physique des chapitres 5 à 8 : un quart d'onde de métal, long d'environ 65 mm, entre en résonance avec l'onde de 27,5 cm et transforme quelques milliardièmes de watt en une tension minuscule. Le câble transporte cette tension jusqu'à la clé et en perd à peu près la moitié tous les dix mètres s'il est fin, ce qui explique pourquoi l'antenne doit être proche de la clé, ou le câble épais. Le filtre et l'amplificateur sont facultatifs : ils renforcent le signal de 1090 MHz avant qu'il n'atteigne la clé et rejettent les émetteurs de téléphonie mobile et de radio FM qui, sinon, l'assourdiraient. La clé est une radio logicielle qui échantillonne l'onde deux millions de fois par seconde et transmet les nombres au Raspberry Pi, où le décodeur (readsb, un descendant de dump1090) trouve le préambule du chapitre 4, lit les 112 bits, vérifie le code d'erreur et rejette tout ce qui échoue. Le feeder Dataero transmet ensuite les messages décodés, par votre connexion internet, au hub d'ingestion de Dataero, qui fusionne votre station avec toutes les autres pour en faire la carte.

LISTE D'ACHATS

Quoi acheter, pièce par pièce

La liste ci-dessous est complète : avec ces pièces et rien d'autre, vous contribuerez. Elle existe en deux montages. Le montage de base garde une petite antenne à l'intérieur, à une fenêtre ou dans le grenier, et suffit pour voir le système fonctionner et contribuer dès le premier soir ; le montage avancé place une antenne accordée à l'extérieur, avec un amplificateur filtré et un câble à faibles pertes, et atteint l'horizon radio. Les prix sont indicatifs, pour du matériel neuf, TVA comprise, et varient selon la boutique et le mois. Les boutons Acheter ouvrent chaque pièce sur la boutique Amazon du pays que vous choisissez ; les mêmes pièces se trouvent dans toute boutique d'électronique, et l'ordinateur chez les revendeurs officiels Raspberry Pi (le site de Raspberry Pi les liste par pays). Quelle que soit la boutique, achetez la clé vendue pour l'ADS-B, parce que la même clé vendue comme tuner de télévision est souvent une version plus ancienne et plus bruyante.

L'ordinateur : un Raspberry Pi

Un **Raspberry Pi 4 Model B avec 2 Go** de mémoire est le bon choix : il décode 1090 MHz avec une fraction de sa puissance, il a quatre ports USB, un port Ethernet filaire et le Wi-Fi, et il se vend en kit avec un boîtier et une alimentation. Un Raspberry Pi 5 fonctionne tout aussi bien et coûte un peu plus cher ; un Raspberry Pi 3B+ fonctionne si vous en avez déjà un ; un Raspberry Pi Zero 2 W fonctionne mais est juste en alimentation USB, et il vaut mieux l'éviter pour une première construction. Achetez l'**alimentation officielle** de votre modèle (un chargeur de téléphone trop faible est la cause la plus fréquente d'un récepteur qui redémarre au hasard), une **carte microSD de 16 ou 32 Go** d'une marque connue, et un **boîtier** un peu ventilé, parce que la clé et le processeur chauffent tous les deux. Ajoutez le petit jeu de dissipateurs si le kit n'en contient pas. Comptez 50 à 70 euros pour l'ordinateur, 10 à 15 pour l'alimentation, 10 pour la carte et 10 pour le boîtier.

La radio : une clé RTL-SDR

La clé est une radio logicielle construite autour d'une puce RTL2832U et d'un tuner R820T2 ou R860, la même famille que celle décrite au chapitre 9. Achetez-en une **vendue pour l'ADS-B**. Le meilleur choix pour commencer est une clé avec **filtre et amplificateur 1090 MHz intégrés** (la FlightAware Pro Stick Plus est la plus connue ; la FlightStick d'AirNav est comparable) : le filtre et l'amplificateur à faible bruit que vous achèteriez sinon séparément sont dans la clé, et elle entend deux à trois fois plus loin qu'une clé ordinaire en ville. Une clé généraliste (la RTL-SDR Blog V4, une Nooelec NESDR SMARTEE) fonctionne aussi et est plus polyvalente si vous voulez écouter autre chose plus tard, mais ajoutez le filtre externe décrit plus bas si vous vivez à quelques kilomètres d'antennes de téléphonie mobile. Quelle que soit celle que vous achetez, vérifiez le connecteur d'antenne : **SMA** est le standard, et toutes les antennes et tous les câbles de cette liste l'utilisent ; évitez les clés à petit connecteur MCX, qui demande un adaptateur et casse. Comptez 30 à 45 euros.

L'antenne

Commencez par la petite antenne magnétique fournie dans la boîte de la clé, s'il y en a une : sur une surface métallique, à une fenêtre, elle entend des avions à 80 à 150 km et suffit pour voir le système fonctionner le premier soir. Le vrai récepteur, lui, a besoin d'une **antenne accordée sur 1090 MHz**, et c'est la pièce sur laquelle il ne faut pas économiser : une colinéaire à éléments empilés dans un tube

étanche, longue de 60 à 70 cm, avec 4 à 6 dBi de gain et un connecteur N ou SMA en bas (l'antenne 1090 MHz de FlightAware et la A3 de Jetvision sont les choix habituels, 50 à 70 euros). Elle est construite pour résonner exactement à la longueur d'onde du chapitre 8 et pour concentrer sa sensibilité vers l'horizon, là où sont les avions lointains ; en extérieur, sur un court mât avec une vue dégagée, elle atteint l'horizon radio, 350 à 450 km pour des avions en croisière. Les antennes faites maison avec du fil coupé sont une expérience de classe, pas un récepteur : quelques millimètres d'erreur les désaccordent et elles entendent une fraction de ce qu'entend une antenne accordée en usine.

Câble et connecteurs

Si l'antenne est à côté du Pi, un **câble SMA mâle vers SMA mâle de 1 à 3 m**, d'un type fin et souple (RG-174 pour un mètre, RG-58 ou H155 pour trois), suffit. Plus la liaison est longue, plus le câble doit être épais : à 1090 MHz, un câble fin perd environ 3 dB, la moitié du signal, tous les dix mètres, alors qu'un câble épais à faibles pertes comme le LMR-400 ou le H1000 en perd environ 1,3 dB. Une antenne de toit à 15 m du Pi demande donc du LMR-400 ou un amplificateur filtré à l'antenne, ou les deux. Achetez le câble fait à la longueur voulue, connecteurs montés (N mâle côté antenne si l'antenne a une embase N, SMA mâle côté clé), parce que monter soi-même un connecteur N demande une pince à sertir et de l'entraînement. Comptez 10 euros pour un câble court, 30 à 60 pour un câble long à faibles pertes. Ajoutez une **courte rallonge USB**, de 30 à 50 cm, pour éloigner la clé du Pi : une clé branchée directement sur la carte capte le bruit radio du processeur lui-même et bloque le port voisin.

Filtre et amplificateur (facultatifs, mais c'est la portée la moins chère qui s'achète)

Si votre clé n'a pas de filtre intégré, un **filtre passe-bande 1090 MHz** (20 à 25 euros, entrée et sortie SMA) placé entre le câble et la clé supprime les signaux de téléphonie mobile, de FM, de télévision et de radiomessagerie qu'une clé ordinaire reçoit aussi et qui la saturent près d'une ville. Mieux encore, un **amplificateur à faible bruit filtré** (environ 35 euros ; le LNA 1090 de RTL-SDR Blog et le préamplificateur Uputronics sont les plus courants), monté à l'extrémité antenne d'un câble long : il amplifie le signal avant que le câble ne le perde, et il est alimenté par la clé à travers le câble lui-même (un *bias tee*, que la clé doit prendre en charge ; la Blog V4, la Pro Stick Plus et la SMATee le font toutes). Un amplificateur à l'extrémité Pi d'un câble long ne sert presque à rien, parce qu'il amplifie ce que le câble a déjà perdu.

Les outils et le reste

Il vous faut un ordinateur avec un lecteur de cartes SD (ou un lecteur de cartes USB, 5 euros) pour écrire la carte mémoire, le mot de passe Wi-Fi de votre box ou un port Ethernet libre avec un câble, et, pour l'antenne, un rebord de fenêtre, une poutre de grenier ou un court mât avec deux fixations murales. Pour une antenne extérieure, ajoutez du ruban auto-amalgamant pour étanchéifier le connecteur (3 euros), des colliers de serrage et quelques mètres de mou dans le câble pour une boucle d'égouttement. Un petit tournevis et des ciseaux sont les seuls outils.

Montage de base

Petite antenne à l'intérieur, à une fenêtre ou dans le grenier - 50 à 150 km - 150 à 200 EUR

Pièce	À quoi elle sert	Acheter sur Amazon
Kit Raspberry Pi 4 Modèle B avec 2 ou 4 Go, l'alimentation officielle, un boîtier ventilé et une carte microSD de 32 ou 64 Go, tout dans le kit ; un kit Raspberry Pi 5 convient tout autant	Décode les messages et fait tourner le feeder Dataero	https://radar.dataero.eu/go/pi
Clé AirNav Radar FlightStick Radio logicielle USB avec filtre et amplificateur 1090 MHz intégrés, prise SMA ; la FlightAware Pro Stick Plus, tant qu'il y en a, est équivalente	Transforme l'onde radio en nombres ; le filtre et l'amplificateur intégrés sont ce qui lui donne de la portée en ville	https://radar.dataero.eu/go/sdr
Rallonge USB, 30 à 50 cm USB 2.0, A mâle vers A femelle	Éloigne la clé du bruit radio du processeur et libère le port voisin	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
Petite antenne 1090 MHz à base magnétique Accordée pour l'ADS-B, avec son câble et une fiche SMA mâle	Capte l'onde à une fenêtre ; sur une surface métallique, elle entend les avions à 50 à 150 km	https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor

Montage avancé

Antenne extérieure sur un petit mât, pour la longue portée - 250 à 400 km - 300 à 420 EUR

Pièce	À quoi elle sert	Acheter sur Amazon
Kit Raspberry Pi 4 Modèle B avec 2 ou 4 Go, l'alimentation officielle, un boîtier ventilé et une carte microSD de 32 ou 64 Go, tout dans le kit ; un kit Raspberry Pi 5 convient tout autant	Décode les messages et fait tourner le feeder Dataero	https://radar.dataero.eu/go/pi
Clé AirNav Radar FlightStick Radio logicielle USB avec filtre et amplificateur 1090 MHz intégrés, prise SMA ; la FlightAware Pro Stick Plus, tant qu'il y en a, est équivalente	Transforme l'onde radio en nombres ; le filtre et l'amplificateur intégrés sont ce qui lui donne de la portée en ville	https://radar.dataero.eu/go/sdr
Rallonge USB, 30 à 50 cm USB 2.0, A mâle vers A femelle	Éloigne la clé du bruit radio du processeur et libère le port voisin	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext

Pièce	À quoi elle sert	Acheter sur Amazon
Antenne extérieure FlightAware 1090 MHz Colinéaire dans un tube étanche, 66 cm, embase N femelle ; l'A3 de Jetvision est l'alternative	Construite pour résonner exactement à 27,5 cm et regarder l'horizon : dehors, avec une vue dégagée, elle atteint l'horizon radio	https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor
Amplificateur filtré 1090 MHz LNA ADS-B de RTL-SDR Blog, Nooelec SAWbird+ ADS-B ou préamplificateur Uputronics, alimenté par le câble (bias tee)	Monté à l'antenne, il renforce le signal avant que le câble ne le perde	https://radar.dataero.eu/go/lina
Adaptateur N mâle vers SMA mâle Entre l'embase N de l'antenne et la prise SMA de l'amplificateur	Relie l'antenne à l'amplificateur	https://radar.dataero.eu/go/adapter
Câble coaxial à faibles pertes, 10 m LMR-400 ou H1000, SMA mâle aux deux bouts, à la longueur voulue avec les connecteurs montés	Porte le signal du toit à la clé en ne perdant qu'environ 1,3 dB par 10 m	https://radar.dataero.eu/go/coax
Petit mât avec fixations murales Environ 1 m de long, 30 à 40 mm de diamètre, avec deux fixations	Élève l'antenne au-dessus de la ligne du toit, loin des murs et des cheminées	https://radar.dataero.eu/go/mount
Ruban auto-amalgamant Un rouleau	Étanchéifie chaque connecteur extérieur contre la pluie	https://radar.dataero.eu/go/tape

En tant que Partenaire Amazon, Dataero Europe réalise un bénéfice sur les achats remplissant les conditions requises effectués via ces liens, sans surcoût pour vous. Les prix, le stock et la livraison sont ceux affichés par Amazon ; les mêmes pièces s'achètent dans toute boutique d'électronique.

Ce qu'il ne faut pas acheter

Une clé de télévision à 10 euros avec une puce sans nom et un connecteur MCX (elle fonctionne une semaine, dérive, surchauffe et perd les messages faibles) ; une antenne discone « large bande » ou une antenne d'autoradio (pas résonantes à 1090 MHz ; le chapitre 8 explique pourquoi la longueur compte) ; une antenne Wi-Fi ou 4G avec un connecteur qui a l'air de convenir (mauvaise fréquence) ; un câble long avec des connecteurs à sertir soi-même ; un chargeur de téléphone comme alimentation ; un Raspberry Pi d'occasion d'origine inconnue avec une carte déjà dedans.

OÙ LA PLACER

Placer l'antenne : hauteur, ciel et câble

Le placement l'emporte sur le prix. La formule de l'horizon radio du chapitre 7, $d = 4,12 \times (\sqrt{h \text{ avion}} + \sqrt{h \text{ antenne}})$ avec les hauteurs en mètres, dit qu'une antenne à 2 m sur un rebord de fenêtre voit un avion de ligne à 11 000 m jusqu'à 438 km, et la même antenne sur un toit de 20 m seulement 13 km plus loin. La hauteur compte bien moins que ce qui se trouve **sur le chemin** : un mur, une colline, un toit métallique ou l'immeuble voisin bloquent complètement la ligne de visée, et une fenêtre tournée à l'opposé de la voie aérienne entend la moitié du ciel. La première question n'est donc pas « à quelle hauteur » mais « que voit l'antenne », et la réponse devrait être : le plus de ciel possible, jusqu'à l'horizon, dans le plus de directions possible.

À une fenêtre, mettez l'antenne du côté extérieur de la vitre si vous le pouvez (sur une rambarde de balcon, tenue par son aimant sur une plaque d'acier), sinon sur le rebord intérieur, contre la vitre ; un double vitrage moderne à revêtement métallique affaiblit nettement le signal, et une fenêtre qui s'ouvre laisse passer le câble. Choisissez la fenêtre qui fait face à l'aéroport le plus proche ou à la voie aérienne la plus fréquentée ; la carte en direct vous dit laquelle. **Dans un grenier**, un toit de tuiles ou d'ardoises est presque transparent à 1090 MHz et l'antenne voit dans toutes les directions ; un toit métallique ou un isolant doublé d'aluminium est opaque. Suspendez l'antenne à une poutre, aussi haut que le faite le permet, loin des réservoirs d'eau et des câbles électriques. **Sur un toit**, un mât d'un mètre au-dessus du faite, sur deux fixations murales, dégage la cheminée et les voisins ; c'est le placement qui atteint l'horizon radio, et celui qui demande un câble épais ou un amplificateur à l'antenne.

Câble	Perte par 10 m à 1090 MHz	Signal restant après 10 m	Usage
RG-174 (2,8 mm)	environ 7 dB	20 %	intérieur, moins de 1 m
RG-58 (5 mm)	environ 5 dB	30 %	intérieur, 1 à 3 m
H155 ou LMR-200 (5,5 mm)	environ 3 dB	50 %	jusqu'à 5 m
LMR-400 ou H1000 (10 mm)	environ 1,3 dB	75 %	liaisons de toit de 10 à 20 m
amplificateur à l'antenne + n'importe quel câble	perte payée avant le câble	presque tout	toute liaison longue

Sécurité

Ne placez jamais une antenne là où elle pourrait toucher une ligne électrique aérienne ou tomber dessus ; gardez-la sous le point le plus haut du toit si le bâtiment a un paratonnerre, et sinon admettez qu'une petite antenne en plastique sur un mât de 1 m n'attire pas plus la foudre que la cheminée, mais débranchez la clé pendant un orage. Le travail sur le toit est réservé à un adulte, de jour, avec quelqu'un qui tient l'échelle ; un grenier ou une fenêtre donne 80 % du résultat sans aucun des risques. Étanchéifiez chaque connecteur extérieur avec du ruban auto-amalgamant et laissez une boucle dans le câble sous le point d'entrée, pour que la pluie s'égoutte au lieu de couler à l'intérieur. Le récepteur ne fait qu'écouter : rien ici ne rayonne.

ÉTAPE 1

Assembler le matériel

Assembler, c'est visser des connecteurs ensemble ; la seule chose à réussir est de serrer chacun à la main jusqu'à ce qu'il ne tourne plus, sans outil, et d'éviter de plier le câble brusquement à moins d'une largeur de main d'un connecteur.

1. Posez les dissipateurs sur le Pi si le kit en contient, mettez le Pi dans son boîtier et laissez le couvercle ouvert pour l'instant.
2. Vissez le câble d'antenne sur l'antenne (N ou SMA, serré à la main) et, si vous utilisez un filtre ou un amplificateur séparé, vissez-le à l'extrémité clé du câble : antenne, câble, filtre ou amplificateur, clé, dans cet ordre. Un amplificateur à l'antenne se place au contraire entre l'antenne et le câble.
3. Vissez le câble sur l'embase SMA de la clé. Branchez la clé sur la rallonge USB et la rallonge sur l'un des ports USB 3 bleus du Pi (tous les ports fonctionnent ; les bleus sont les plus éloignés de l'antenne Wi-Fi).
4. Placez l'antenne là où vous l'avez décidé plus haut et faites passer le câble en courbes douces. Mettez la clé à un endroit où elle peut respirer ; elle est tiède au toucher, ce qui est normal.
5. Branchez le câble Ethernet sur la box si vous en utilisez un. Ne branchez pas encore l'alimentation : la carte mémoire vient d'abord.

ÉTAPE 2

Préparer le Raspberry Pi

Le Pi a besoin d'un système d'exploitation sur sa carte mémoire et d'un moyen, pour vous, de lui taper des commandes depuis votre propre ordinateur. Les deux prennent dix minutes et se font en cliquant dans un seul programme, **Raspberry Pi Imager**, que vous téléchargez gratuitement sur le site de Raspberry Pi pour Windows, macOS ou Linux.

1. Mettez la carte microSD dans votre ordinateur. Ouvrez Raspberry Pi Imager. Sous « Modèle de Raspberry Pi », choisissez votre modèle ; sous « Système d'exploitation », choisissez **Raspberry Pi OS (other)**, puis **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)**, la version sans bureau, parce que le récepteur n'a jamais d'écran ; sous « Stockage », choisissez la carte.
2. Cliquez sur Suivant et, quand Imager propose d'appliquer des réglages de personnalisation du système, cliquez sur **Modifier les réglages**. Dans l'onglet Général, donnez au Pi le nom d'hôte **adsb** (pour qu'il réponde à adsb.local), cochez « Définir le nom d'utilisateur et le mot de passe » et choisissez les deux (notez-les), et entrez le nom et le mot de passe de votre Wi-Fi avec votre pays, sauf si vous utilisez un câble Ethernet ; réglez votre fuseau horaire. Dans l'onglet Services, cochez **Activer SSH** avec authentification par mot de passe. Enregistrez, puis confirmez que la carte sera effacée et laissez Imager l'écrire et la vérifier.
3. Mettez la carte dans le Pi, branchez l'alimentation et attendez deux minutes : la lumière verte clignote pendant le démarrage, et le premier démarrage est plus lent.
4. Sur votre ordinateur, ouvrez un terminal : sous Windows, PowerShell (cherchez-le dans le menu Démarrer) ; sur un Mac, Terminal ; sous Linux, n'importe quel terminal. Tapez la commande ci-dessous avec le nom d'utilisateur que vous avez choisi, appuyez sur Entrée, répondez **yes** à la

question sur l'empreinte, puis tapez votre mot de passe (rien ne s'affiche pendant que vous tapez) et appuyez sur Entrée. L'invite devient celle du Pi : vous tapez maintenant sur le récepteur.

```
ssh <username>@adsb.local
```

Si *adsb.local* est introuvable, votre box ne transmet pas les noms locaux : ouvrez sa page web, trouvez la liste des appareils connectés, notez l'adresse IP du Pi (quelque chose comme 192.168.1.42) et utilisez-la à la place du nom. Une fois connecté, mettez le système à jour et installez git, l'outil qui télécharge le feeder ; copiez la ligne, collez-la, appuyez sur Entrée et attendez. La mise à jour peut prendre dix minutes la première fois.

```
sudo apt update && sudo apt full-upgrade -y && sudo apt install -y git
```

ÉTAPE 3

Installer le feeder Dataero

Le feeder Dataero est un petit programme libre publié par Dataero sur GitHub (github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder). Son installeur fait tout ce dont un récepteur a besoin : il installe le décodeur (readsb) si le Pi n'en a pas, enregistre votre récepteur auprès de Dataero, génère son identifiant de récepteur unique, met en place les services qui transmettent les messages et maintiennent la connexion, et vérifie à la fin que Dataero vous entend. Vous pouvez en lire chaque ligne sur GitHub avant de le lancer. Trois commandes, tapées sur le Pi, l'une après l'autre :

```
git clone https://github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder
cd dataero-adsb-feeder
sudo bash installer.sh
```

L'installateur pose quelques questions. Voici ce que chacune signifie et quoi répondre.

L'installateur demande	Ce que cela signifie	Quoi répondre
Do you want to automatically install readsb? (yes/no)	Aucun décodeur n'a été trouvé sur ce Pi ; readsb est le programme qui transforme les échantillons de la clé en messages.	Tapez yes, en entier. Toute autre réponse arrête l'installateur. Le téléchargement et la compilation prennent quelques minutes.
Station name (optional)	Le nom affiché avec votre récepteur sur la carte et au classement.	Un nom court : votre ville et un mot, le nom d'une école. Il peut être changé plus tard en relançant l'installateur.
Enable MLAT for this receiver? (y/N)	La multilatération (chapitre 10) : le chronométrage de votre récepteur aide à localiser les avions qui n'envoient pas de position. Elle exige une position d'antenne exacte.	n pour une première installation, ou y si vous pouvez donner la position de l'antenne à quelques mètres près.

L'installateur demande	Ce que cela signifie	Quoi répondre
Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)	Où se trouve l'antenne. Obligatoire avec MLAT, facultatif sinon ; sert à votre carte de couverture et à vos statistiques de portée.	Des degrés décimaux avec un point (50.8467, 4.3525), l'altitude au-dessus du niveau de la mer en mètres : l'altitude du sol à votre adresse plus la hauteur de l'antenne au-dessus du sol.

Pour trouver la position, ouvrez n'importe quelle carte en ligne, faites un clic droit sur l'emplacement exact de l'antenne et copiez les coordonnées ; la plupart des cartes affichent six décimales, soit une précision d'un dixième de mètre. L'altitude du sol se lit sur une carte topographique ou dans le champ « altitude » d'une application GPS ; ajoutez la hauteur de l'antenne au-dessus du sol (une fenêtre du deuxième étage est à environ 6 m, le faîte du toit d'une maison à un étage à environ 9 m). L'altitude donnée par un téléphone est souvent fautive de dix ou vingt mètres, alors utilisez la carte pour le sol et un mètre ruban pour le reste. N'activez pas MLAT avec une position devinée : un récepteur dont le chronométrage dit « je suis ici » depuis ailleurs dégrade toutes les solutions auxquelles il participe.

L'installateur travaille ensuite quelques minutes et termine par une bannière qui commence par **Installation complete**. Il affiche votre **identifiant de récepteur**, un long code de lettres et de chiffres (un UUID), le hub Dataero auquel votre station est connectée, et le résultat d'un premier contact avec Dataero : quand le service d'enregistrement accepte le signal de présence du récepteur, votre station est en ligne. L'identifiant de récepteur est le sésame de votre station : il voyage avec chaque message et c'est lui que vous collerez dans votre compte pour l'associer. Gardez-le pour vous, parce que le premier compte qui l'associe devient propriétaire du récepteur. Si jamais vous le perdez, il est conservé sur le Pi :

```
sudo grep RECEIVER_UUID /usr/local/dataero-adsb-feeder/.env
```

Ce que l'installateur laisse tourner

Trois petits services qui démarrent seuls à chaque allumage : *readsb*, le décodeur, qui sert aussi une carte locale ; *dataero-readsb*, une seconde instance du décodeur, réseau seulement, qui transmet un flux réduit de vos messages au hub de Dataero ; et *dataero-feeder*, le signal de présence qui dit à Dataero que votre station est vivante. Avec MLAT activé, un quatrième, *dataero-mlat*. Relancer l'installateur plus tard conserve votre identifiant de récepteur, votre nom et votre position, et ne met à jour que ce qui a changé.

ÉTAPE 4

Passer en direct, et associer votre récepteur

Dans la minute qui suit la bannière, les premiers avions devraient apparaître. Regardez à trois endroits. Sur le Pi lui-même, la commande ci-dessous affiche un tableau en direct de tous les avions en cours de décodage, avec leur adresse, leur indicatif, leur altitude, leur vitesse et la puissance du signal en dBFS ; appuyez sur **q** pour en sortir. L'installateur de *readsb* a aussi mis en place une carte locale sur le Pi, **http://adsb.local/tar1090** (ou l'adresse IP à la place du nom), qui montre la vue du ciel de votre propre station, avec des cercles de portée. Et sur **radar.dataero.eu**, la carte publique, les avions que votre station entend sont dessinés avec ceux de tous les autres en quelques secondes.

```
viewadsb
```

Votre récepteur contribue déjà, anonymement. L'**associer** le rattache à votre compte et débloque le côté contributeur du site : ouvrez radar.dataero.eu, créez un compte gratuit ou connectez-vous, ouvrez **Récepteurs** dans le menu du compte, choisissez **Associer un récepteur** et collez l'identifiant de récepteur affiché par l'installateur. Utilisez l'identifiant de récepteur Dataero, pas un UUID d'un autre programme de contribution si vous en faites tourner un. À partir de cet instant, votre station a un nom sur la carte, un **tableau de bord** (avons vus, messages par seconde, les heures les plus chargées, les avions les plus rares), une **carte de couverture** tracée à partir de la puissance du signal de chaque message, en deux et trois dimensions, **365 jours d'historique des vols** là où un visiteur n'en a aucun, et un rang au **classement**. Tout ce qui a été recueilli avant l'association est déjà là.

À quoi s'attendre le premier soir : à une fenêtre avec l'antenne de la boîte, 20 à 60 avions à la fois dans une région fréquentée d'Europe, jusqu'à 100 ou 150 km, avec un trou du côté du bâtiment ; avec une antenne accordée dans un grenier, 100 à 200 avions jusqu'à 250 km ; sur un toit, 200 à 400 avions et une portée qui touche 400 km dans les directions où rien ne fait obstacle. Le compteur de messages du tableau de bord est une meilleure mesure que la portée : une bonne station décode 500 à 1 500 messages par seconde à une pointe diurne européenne et quelques dizaines au cœur de la nuit. La courbe sur une journée, c'est la leçon 4 du cours rendue visible : les avions ne volent pas la nuit parce que les gens ne le font pas.

Ouvrir la carte en direct <https://radar.dataero.eu/fr/map>

Créer un compte et associer le récepteur <https://radar.dataero.eu/fr/contribute>

ÉTAPE 5

Régler, et comprendre ce que vous voyez

Deux réglages décident de l'essentiel des performances d'une station, et tous deux se changent en une seconde sur le Pi. Le premier est le **gain**, c'est-à-dire de combien la clé amplifie avant de numériser. readsb démarre en gain automatique, ce qui est un compromis honnête. Si les avions à la verticale disparaissent alors que les lointains restent, le récepteur est saturé par les signaux forts et proches, et le gain est trop élevé ; si les avions lointains n'apparaissent jamais, il est trop bas. La commande ci-dessous fixe un gain en dB ; essayez des valeurs entre 30 et 49 (49,6 est le maximum de la clé) et observez le nombre d'avions et la portée maximale sur la carte locale pendant dix minutes pour chacune. Avec une clé qui a son propre amplificateur, 40 à 45 est généralement le meilleur choix à une fenêtre, et moins sur un toit. Taper la valeur -10 revient à l'automatique.

```
sudo readsb-gain 43
```

Le second est la **position de la carte locale**, que readsb utilise pour tracer ses cercles de portée et calculer la distance de chaque avion ; elle est distincte de la position que vous avez donnée à l'installateur Dataero (qui est celle que Dataero utilise) et se règle avec la seconde commande. Ouvrez ensuite la carte locale et regardez le contour des avions les plus lointains grandir au fil d'une journée : ce contour est votre horizon radio, et sa forme est la forme de vos obstacles.

```
sudo readsb-set-location 50.8467 4.3525
```

La colonne du signal dans *viewadsb*, c'est la loi de l'inverse du carré du chapitre 6 en chiffres. Un avion qui passe à la verticale à 10 km s'affiche autour de -5 dBFS ; le même avion à 300 km, trente fois plus loin, arrive neuf cents fois plus faible, environ -30 dBFS, et le décodeur le lit encore parce que le message n'a besoin que d'être plus fort que le bruit. Regardez le signal d'un avion monter puis redescendre pendant qu'il traverse votre ciel, et vous avez mesuré la loi sans formule. La colonne des messages perdus, quand elle est élevée, dit le contraire : des signaux forts de deux avions arrivant au même instant se brouillent mutuellement, ce qui est la limite décrite au chapitre 11 et la raison pour laquelle un second récepteur à trente kilomètres voit des messages que vous perdez.

Si vous avez activé **MLAT**, les avions positionnés par multilatération apparaissent sur la carte Dataero et reviennent dans votre carte locale avec un marqueur distinct. Ce sont les avions qui n'envoient pas de position : des jets d'affaires anciens, des transports militaires, certains hélicoptères. Votre contribution à chacun est un horodatage précis à quelques nanosecondes, à partir duquel le hub résout les hyperboles du chapitre 10 avec trois autres stations. Une position d'antenne fautive de seulement 30 m décale votre chronométrage d'un dixième de microseconde, assez pour placer un avion résolu un kilomètre à côté, et c'est pourquoi l'installateur insiste.

QUAND ÇA NE MARCHE PAS

Dépannage

Presque tous les problèmes sont l'un de ceux du tableau ci-dessous, et chacun a une vérification d'une ligne. Les commandes s'exécutent sur le Pi, par la même connexion de terminal que l'installation.

Symptôme	Cause la plus probable	Quoi faire
ssh ne trouve pas adsb.local	La box ne résout pas les noms locaux, ou le Pi n'est pas sur le réseau.	Utilisez l'adresse IP de la liste des appareils de la box. Si le Pi n'y figure pas, vérifiez les informations Wi-Fi tapées dans Imager, ou utilisez un câble Ethernet.
readsb ne démarre pas ; « no device found »	La clé n'est pas vue : câble USB mal enfoncé, alimentation trop faible, ou clé qui n'est pas une RTL-SDR.	Rebranchez la clé et la rallonge ; lancez lsusb et cherchez « RTL2838 » ou « Realtek » ; remplacez l'alimentation par l'officielle.
readsb tourne mais ne montre aucun avion	L'antenne n'est pas connectée, le câble a un connecteur ouvert, ou l'antenne est dans une zone d'ombre radio.	Vérifiez que chaque connecteur est serré ; déplacez l'antenne vers une fenêtre avec vue dégagée sur le ciel ; une clé ordinaire sans filtre, en ville, peut en avoir besoin d'un.
Les avions proches disparaissent, les lointains restent	Saturation : gain trop élevé, ou émetteur puissant à proximité.	Baissez le gain (readsb-gain 35), ajoutez un filtre 1090 MHz.
Des avions sur la carte locale mais pas sur radar.dataero.eu	Les services du feeder ne tournent pas, ou le Pi n'a pas d'internet.	Lancez la commande d'état ci-dessous ; un service affiché « failed » vous dit pourquoi dans son journal. Relancez l'installateur : il répare la configuration et conserve votre identifiant.

Symptôme	Cause la plus probable	Quoi faire
Le Pi redémarre ou la clé disparaît au hasard	L'alimentation. La clé consomme un tiers d'ampère ; une alimentation faible fait chuter la tension.	Utilisez l'alimentation officielle ; retirez les autres périphériques USB ; vérifiez que la lumière rouge d'alimentation reste fixe.
« Récepteur introuvable » à l'association	Un autre UUID a été collé (d'un autre programme de contribution, ou une faute de frappe).	Collez la valeur affichée par la commande grep de l'étape 3 ; c'est l'identifiant de récepteur Dataero.

```
sudo systemctl status readsb dataero-readsb dataero-feeder
sudo journalctl -u dataero-feeder -n 50
```

Si rien de tout cela n'aide, ouvrez une issue sur la page GitHub du feeder avec la sortie de ces deux commandes : les gens qui ont écrit l'installateur les lisent. Dataero anime aussi un canal communautaire, accessible depuis la page Devenir contributeur, où d'autres contributeurs répondent à la plupart des questions en quelques heures.

ENSUITE

Le garder en marche

Un récepteur n'a presque besoin de rien. Les services redémarrent seuls après une coupure de courant ; le Pi n'a aucune pièce mobile ; la clé dure des années. Une fois par saison, connectez-vous au Pi et relancez la ligne de mise à jour de l'étape 2, puis relancez l'installateur depuis le dossier où il a été téléchargé (*cd dataero-adsb-feeder* puis *sudo bash installer.sh*) : il récupère le feeder courant, conserve votre identifiant de récepteur, votre nom et votre position, et pose les mêmes questions avec vos réponses précédentes comme valeurs par défaut. Si vous déplacez l'antenne, relancez l'installateur et donnez la nouvelle position ; si vous déménagez, faites de même et rien d'autre ne change. Si un jour vous voulez arrêter, le même dossier contient un désinstallateur.

Deux habitudes gardent une station en bonne santé. Regardez le tableau de bord une fois par semaine : un taux de messages qui chute de moitié du jour au lendemain signifie qu'un câble s'est desserré ou qu'un arbre a poussé. Et notez, le premier jour, trois nombres lus sur la carte locale : la portée maximale dans chaque direction, le nombre d'avions à la pointe du soir et le taux de messages. C'est votre référence, et chaque changement que vous ferez ensuite, une meilleure antenne, un mât plus haut, un filtre, se mesure par rapport à elle. Cette mesure est la science vers laquelle le cours menait.

POUR UNE CLASSE OU UNE FAMILLE

Faire du récepteur un projet

Le récepteur est un instrument permanent, et le meilleur usage qu'on puisse en faire est une série de mesures qui testent chacune une idée du cours. Pour une famille, l'une d'elles remplit un dimanche ; pour une classe, chacune est une leçon, et les données que la station recueille entre les leçons sont les devoirs. Le graphique horaire du tableau de bord, la carte de couverture et le contour de portée de la carte locale sont les instruments ; les leçons donnent les prédictions ; les mesures tranchent.

1. **La hauteur contre la portée** (chapitre 7). Notez la portée maximale avec l'antenne sur une table, à une fenêtre du premier étage, à une fenêtre du dernier étage, dans le grenier. Tracez la portée en

fonction de la hauteur et comparez avec la formule de l'horizon radio ; la différence, ce sont les obstacles.

2. **La loi de l'inverse du carré** (chapitre 6). Suivez un avion à travers le ciel dans viewadsb et relevez le signal en fonction de la distance chaque minute ; tracez le signal en dB en fonction du logarithme de la distance ; la pente devrait être proche de -20 dB par décade.
3. **Le rythme quotidien** (leçon 4). Relevez le taux de messages toutes les heures pendant une semaine sur le tableau de bord. Expliquez la forme : la vague du matin, la pointe du soir, le couvre-feu nocturne de l'aéroport le plus proche, la différence entre un jour de semaine et un dimanche.
4. **Là où le ciel s'arrête**. Décalquez le contour de portée de la carte locale après une semaine et superposez-le à une carte de la région. Chaque creux est un bâtiment, une colline ou un arbre ; nommez-les.
5. **La carte vaut ce que valent ses écouteurs** (chapitre 11). Comparez la carte de couverture de votre station avec la carte publique un soir : les avions que vous n'entendez pas sont entendus par quelqu'un d'autre. Trouvez la station la plus proche au classement et calculez, avec la formule, où vos cercles se chevauchent.

Dans une école, le récepteur répond aussi à la question que toute classe pose, « c'est quoi, cet avion ? », avec un écran dans le couloir qui montre la carte locale. La liste des « avions les plus rares » du tableau de bord est une surprise mensuelle : un transport gouvernemental, un avion de ligne d'époque, un avion sanitaire, chacun une histoire sur la raison de sa présence. Et une station scolaire qui contribue à Dataero apparaît sur la carte publique avec le nom de l'école comme source, ce qui est une meilleure sorte de célébrité que la plupart.

BIENVENUE

Ce que reçoivent les contributeurs, et ce que la carte reçoit de vous

Un visiteur de radar.dataero.eu voit une carte en direct, un nombre plafonné d'avions et quelques champs par avion, par sessions de consultation de dix minutes. Un compte gratuit supprime la limite de session, montre tous les champs et conserve sept jours d'historique des vols. Un contributeur, ce que vous êtes désormais, a le site entier : 365 jours d'historique pour chaque vol, le tableau de bord, la carte de couverture en deux et trois dimensions, le classement, et une station créditée sur la carte. Rien de tout cela ne coûte quoi que ce soit, ni maintenant ni plus tard, et le récepteur continue d'alimenter tout autre réseau que vous choisissiez d'ajouter.

Ce que la carte reçoit de vous, c'est ce qu'aucun argent n'achète : un écouteur là où il n'y en avait pas. Chaque récepteur du réseau entend un cercle de ciel, et un continent n'est couvert que là où ces cercles se chevauchent. Une nouvelle station dans un trou, un village, une côte, une vallée, un pays avec peu de contributeurs, fait apparaître des avions que personne n'entendait et rend la multilatération possible pour ceux qui n'envoient pas de position. Regardez la couverture de votre région sur la carte ce soir, puis regardez-la une semaine après la mise en service de votre station : la différence, c'est vous.

Devenir contributeur <https://radar.dataero.eu/fr/contribute>

Ouvrir la carte en direct <https://radar.dataero.eu/fr/map>

Retour à l'accueil du cours <https://radar.dataero.eu/fr/learning>