

Télécommander une motopompe diesel par SMS

Automatisation économique du démarrage et de l'arrêt à distance d'une pompe d'irrigation en champ isolé

par OLT — Association Canopée

Sommaire

1 Pourquoi télécommander la motopompe ?	3
2 Théorie (1) : ce que commande la clé — et ce qu'elle ne commande pas	4
3 Théorie (2) : l'architecture de la télécommande	5
4 Pratique : réalisation du boîtier	6
5 Sécurité d'usage : partager la pompe sans partager les ennuis	10
6 TL;DR — l'essentiel en une page	13
7 Application pour Canopée : par paliers, et au-delà de la pompe	13
8 Limites, précautions et idées reçues	14
9 Annexe : le firmware en pratique	17
10 Références et pour aller plus loin	18

Résumé. Démarrer et arrêter à distance une motopompe diesel installée dans un **champ isolé**, sans y aller à chaque arrosage : c'est possible pour **environ 175 €** de matériel, sans rien modifier d'irréversible sur la machine. Cette note analyse d'abord les **organes de commande** de la pompe Blackstone BD 8000ES — le **contacteur à clé** n'est qu'un interrupteur électrique, facilement doublé par un **relais** ; l'**arrêt**, lui, est purement **mécanique** (levier de coupure d'injection) et exige un **servomoteur**. Elle détaille ensuite l'architecture retenue : une carte **ESP32 + modem 4G** commandée par **SMS**, alimentée par la **batterie existante** entretenue par un petit **panneau solaire**, avec détection « moteur tourne » par la **tension de l'alternateur**. Schéma de câblage, nomenclature, **firmware complet**, automate de démarrage à **3 essais**, procédure de mise en service et garde-fous (durée maximale, batterie basse, arrêt inopiné, compteur horaire d'entretien, pressostat de marche à sec en option) complètent la réalisation. Une section entière est consacrée à la **sécurité d'usage** — partager la pompe entre plusieurs jardiniers sans ouvrir la porte aux abus : **liste blanche** de numéros, **code partagé**, **arrêt toujours possible par quiconque**, créneau horaire, **administration à distance** par mot de passe maître, chaque cas d'usage étant illustré par le dialogue SMS correspondant.

Abstract. Remotely starting and stopping a diesel irrigation pump located in a remote field is achievable for about €175 of hardware, with no irreversible change to the machine. This note analyses the pump's controls — the key switch is a mere electrical switch, easily paralleled by a relay, while stopping is purely mechanical (fuel cut-off lever) and requires a servo. It then details the chosen architecture: an ESP32 + 4G modem board driven by SMS, powered by the existing battery topped up by a small solar panel, engine-running detection via alternator voltage. Wiring diagram, bill of materials, complete firmware, 3-attempt start sequence, commissioning procedure, safeguards and a persistent hour meter for maintenance scheduling are included. A dedicated section covers access control for a shared machine: number whitelist, shared code, always-open STOP command, allowed time window, and over-the-air administration protected by a hashed master password — each use case illustrated by its SMS dialogue.

Hypothèses

- Machine visée : motopompe **Blackstone BD 8000ES** (moteur diesel D300, 296 cm³, démarrage électrique à clé, batterie 12 V — 22 Ah) — mais la démarche vaut pour **tout moteur thermique à démarreur électrique** dont l'arrêt est mécanique (groupes électrogènes du même type notamment).
- Site : champ **éloigné des habitations, couvert par le réseau 4G** (à vérifier sur place, cf. §8) ; boîtier à l'ombre ou sous abri.
- La pompe reste **amorcée** entre deux utilisations (clapet anti-retour en pied d'aspiration) et les **vannes restent ouvertes** : on ne télécommande que le moteur, pas l'hydraulique.
- Réalisation **DIY** : aisance de base avec le fer à souder et l'IDE Arduino.

Mots-clés — motopompe · irrigation · télécommande · SMS · 4G · ESP32 · servomoteur · relais · démarrage électrique · diesel · autonomie · DIY · sécurité d'usage · liste blanche

Keywords — *water pump · irrigation · remote control · SMS · 4G · ESP32 · servo · relay · electric start · diesel · DIY · access control · whitelist*

Notations

U	tension de la batterie (V) — mesurée en continu par la carte
kg-cm	couple d'un servomoteur : masse soulevée à 1 cm de l'axe ($17 \text{ kg-cm} \approx 1,7 \text{ N-m}$)
LTE Cat-1	déclinaison « objets connectés » de la 4G : débit modeste, modems économiques
NO / NF	contact de relais normalement ouvert / normalement fermé au repos
buck	convertisseur abaisseur de tension à découpage ($12 \text{ V} \rightarrow 5 \text{ ou } 6 \text{ V}$)
PWM	signal à largeur d'impulsion variable — commande de position d'un servo
ADC	convertisseur analogique-numérique : entrée de mesure de tension de l'ESP32

Points clés

- **Domaine** : électronique embarquée simple (ESP32, relais, servomoteur), télécommande par SMS sur réseau 4G, motorisation diesel de petite puissance.
- **Idée force** : sur cette pompe, **démarrer est un problème électrique** (un relais suffit) mais **arrêter est un problème mécanique** (il faut lever un levier) — le système épouse cette asymétrie au lieu de la contourner.
- **Aucune modification irréversible** : le relais se branche **en parallèle** du contacteur à clé, le servo se fixe **sur le bâti** ; clé et levier restent utilisables à la main.
- **Le capteur gratuit** : la tension de batterie passe de $\approx 12,5 \text{ V}$ à **13,5–14,4 V** quand l'alternateur débite — c'est la preuve fiable que le moteur tourne, sans aucun capteur ajouté.
- **Machine partagée** : trois clés indépendantes — le **numéro** (liste blanche), le **code** que l'on tourne quand quelqu'un s'en va, le **mot de passe maître** qui administre le tout par SMS. Et un principe : **n'importe qui peut arrêter la pompe**, seuls les ayants droit peuvent la démarrer.
- **Budget** : $\approx 175 \text{ €}$ de matériel + SIM à 2 €/mois. Modules 2G des tutoriels à **proscrire** : la 2G s'éteint en France **courant 2026**.

Définitions principales

- **Contacteur à clé** : interrupteur rotatif à 3 positions (arrêt / contact / démarrage). Sur cette pompe, il ne commande **que le circuit électrique** — il **n'arrête pas** le moteur.
- **Solénoïde de démarreur** : électroaimant qui, alimenté, engage le pignon du démarreur et ferme le contact de puissance. C'est **lui** que pilote la clé (et notre relais), pas le courant de 100 A du démarreur.
- **Levier de coupure d'injection** (repéré STOP/START sur la machine) : manette qui agit sur la pompe à injection. Levée, elle **coupe le gazole** : c'est la **seule** commande d'arrêt du moteur. Ce n'est **pas** le décompresseur.
- **Servomoteur (de modélisme)** : moteur + réducteur + asservissement de position dans un boîtier compact, piloté par un signal PWM — idéal pour reproduire un geste mécanique simple et calibré.

1 Pourquoi télécommander la motopompe ?

L'irrigation des parcelles se joue souvent à quelques heures près. Quand la motopompe est dans un **champ isolé**, à plusieurs kilomètres du domicile, chaque arrosage impose **deux déplacements** — un pour démarrer, un pour arrêter. En pleine saison, c'est une contrainte quotidienne qui pousse à sur-arroser (« tant qu'à être venu... ») ou à renoncer aux créneaux les plus favorables (la nuit, tôt le matin). Pouvoir **démarrer et arrêter par SMS**, avec un **compte-rendu automatique** (« pompe démarrée », « pompe arrêtée », tension batterie), change l'économie du geste : on irrigue **au bon moment**, la **bonne durée**, sans trajet.



Figure 2. – À gauche : le **contacteur à clé** — un interrupteur rotatif que l'on peut doubler par un relais, sans le modifier. À droite : la **batterie 12 V — 22 Ah** livrée avec la pompe : elle alimentera aussi notre boîtier de télécommande.



Figure 1. – La motopompe **Blackstone BD 8000ES** : moteur diesel D300 (296 cm³, ≈ 4 kW), pompe auto-amorçante de 80 mm (1 000 L/min), démarrage électrique, réservoir de 14 L (≈ 22 h d'autonomie). Le cadre tubulaire offre de nombreux points de fixation pour le boîtier et le servo-moteur.

Ce que cette note couvre. On commence par **comprendre les organes de commande** de la machine — c'est ce qui dicte toute l'architecture (§2). On choisit ensuite les **briques** : réseau, carte électronique, actionneur, alimentation (§3). La partie pratique déroule la **réalisation** : nomenclature, câblage, montage mécanique, firmware, mise en service (§4). La **sécurité d'usage** — partager la machine sans ouvrir la porte aux abus — occupe une section entière (§5). Résumé, déclinaison Canopée et garde-fous concluent (§6 à §8).

2 Théorie (I) : ce que commande la clé — et ce qu'elle ne commande pas

2.1 Le contacteur à clé : un simple interrupteur

Sur la BD 8000ES, « tourner la clé » n'a rien de mécanique : le contacteur relie des **contacts électriques**. En position **démarrage**, il alimente le **solénoïde du démarreur**, qui engage le pignon et lance le moteur. Il n'y a **ni bobine**

d'allumage (c'est un diesel), **ni électrovanne de gazole** sur ce modèle : une fois lancé, le moteur **tourne tout seul**, clé retirée ou non.

Conséquence décisive pour notre projet : **pas besoin d'actionneur mécanique pour « tourner la clé »**. Un **relais** câblé **en parallèle** des contacts du contacteur reproduit exactement le geste — c'est invisible pour la machine, réversible, et la clé reste utilisable normalement. Le relais ne commute que le **solénoïde** (quelques ampères), jamais le courant du démarreur lui-même (le démarreur de 900 W appelle plus de 100 A en pointe : ce courant passe par le contact de puissance du solénoïde, comme d'origine).



Figure 3. – Le **démarreur électrique de 900 W** et, à gauche sur le radiateur à ailettes, le **régulateur de charge** : moteur en marche, un petit alternateur intégré recharge la batterie — la tension monte à 13,5–14,4 V, signal que notre carte exploitera pour savoir que le moteur tourne.

2.2 Le levier STOP/START : la vraie commande d'arrêt

L'arrêt du moteur, lui, est **purement mécanique** : une manette coulissant dans une lumière repérée **STOP** (en haut) / **START** (en bas) agit sur la **pompe à injection**. Baissée, l'injection est active ; levée, elle **coupe le gazole** et le moteur s'arrête en quelques secondes. Ce n'est **pas** le levier de décompression (qui, lui, sert au lancement manuel) : c'est



Figure 4. – Le levier de coupure d'injection sur son support en tôle pliée : à gauche en position **STOP** (levier en haut, gazole coupé), à droite en position **START** (levier en bas, moteur autorisé à tourner). Le support offre des perçages tout trouvés pour fixer l'équerre du servomoteur.

bien la **coupure d'injection**, et c'est la **seule** façon d'arrêter ce moteur — remettre la clé sur « arrêt » ne change rien.

L'asymétrie qui dicte l'architecture. Démarrer = fermer un contact électrique (facile : un relais). Arrêter = déplacer une manette de 3 à 4 cm (il faut un **actionneur mécanique**). D'où le duo retenu : **relais** pour le démarreur, **servomoteur** pour le levier. Le servo gère d'ailleurs les **deux sens** : il **abaisse** le levier avant chaque démarrage et le **relève** pour arrêter.

2.3 La batterie et l'alternateur : l'énergie et le « capteur » gratuits

La pompe embarque une **batterie plomb 12 V — 22 Ah** (264 Wh) : de quoi alimenter généreusement notre électronique, dont la veille consomme **moins de 1 W**. Et le moteur possède un **alternateur de charge** : dès qu'il tourne, la tension de batterie monte de $\approx 12,5$ V à **13,5–14,4 V**. Cette signature est notre **détecteur de marche** : un simple **pont diviseur de tension** lu par la carte suffit à savoir, à distance, si la pompe tourne — sans aucun capteur ajouté.

Et le bruit ? Le moteur produit ≈ 110 dB en marche : un petit module microphone (type MAX9814, ≈ 3 €) sur une seconde entrée analogique ferait un **détecteur de marche redondant**, facile à discriminer. On garde néanmoins la **tension d'alternateur comme signal principal** : elle est binaire, insensible au vent, à la pluie et aux machines voisines, et ne vieillit pas. Le micro reste une extension intéressante pour croiser les deux informations (cf. §7).

3 Théorie (2) : l'architecture de la télécommande

3.1 Le réseau : des SMS sur la 4G — surtout pas les modules 2G des tutoriels

Le SMS est le canal idéal ici : **couverture maximale** en zone rurale, **aucun serveur** à maintenir, commande possible depuis **n'importe quel téléphone**, et un forfait à **2 €/mois**

suffit (les quelques Mo de données du forfait ne servent même pas).

La 2G disparaît — les modules SIM800L sont des impasses. L'écrasante majorité des tutoriels « Arduino + GSM » utilise des modules **SIM800L/SIM900**, qui ne savent parler qu'en **2G**. Or la 2G s'éteint en France **courant 2026** (Orange par vagues de mars à octobre 2026, SFR et Bouygues en novembre-décembre 2026), et la 3G suivra **à partir de fin 2028**. Un montage 2G construit aujourd'hui cesserait de fonctionner en quelques mois. Il faut un modem **4G LTE** — idéalement **Cat-1**, la déclinaison économique pensée pour les objets connectés.

3.2 La carte : un ESP32 et un modem 4G réunis

La carte **LilyGO T-A7670E** (≈ 35 €) réunit sur un même circuit un microcontrôleur **ESP32** (le « cerveau », programmable avec l'IDE Arduino) et un modem **SIMCom A7670E** (4G LTE Cat-1, avec repli 2G tant qu'elle existe), un porte-SIM et une antenne. Ses bandes LTE (B1, B3, B5, B7, B8, B20) couvrent l'essentiel des fréquences françaises — dont la **bande 800 MHz** (B20), très portante en zone rurale — mais **pas la bande 700 MHz** (B28) : préférer une SIM **Orange, SFR ou Bouygues** à une SIM Free, qui s'appuie surtout sur le 700 MHz à la campagne. C'est la solution la plus simple : une seule carte à alimenter en 5 V, pas de liaison à câbler entre processeur et modem.

3.3 L'actionneur d'arrêt : un servomoteur de modélisme

Pour lever et baisser le levier, un **servomoteur standard à pignons métalliques** type **Power HD 1501MG** (≈ 15 €, 17 kg·cm sous 6 V) est amplement dimensionné : avec un palonnier de 25 à 30 mm, il développe **5 à 6 kg de poussée** sur la tringle, quand le levier demande une traction estimée à 1 à 3 kg. La marge ($\times 2$ à $\times 5$) garantit un geste franc par tous les temps.

Trois précautions font durer un servo dehors. (1) **Ne l'alimenter que pendant le mouvement** (via un MOSFET) : au repos il ne consomme rien, ne grésille pas et ne force pas contre

le levier. (2) Le **protéger des intempéries** : le 1501MG n'est pas étanche — un petit capot (boîte de dérivation retournée) au-dessus suffit. (3) Mouvoir **en rampe** (progressivement) plutôt qu'à pleine vitesse : tringlerie et butées vivront longtemps. Les trois sont prévus dans le firmware et le montage.

3.4 L'énergie : la batterie existante, entretenue par un petit panneau

Le boîtier consomme en veille **0,6 à 1,2 W** (ESP32 + modem enregistré sur le réseau) : seul sur la batterie de 22 Ah, il la viderait en **deux à trois semaines**. Tant que la pompe tourne **chaque jour**, l'alternateur recharge largement ce que la veille consomme. Le **panneau solaire de 10 W** avec un petit régulateur (≈ 30 € l'ensemble) sécurise les **périodes d'inutilisation** — semaine de pluie, intersaison — pendant lesquelles la veille, sinon, grignoterait la batterie.

4 Pratique : réalisation du boîtier

4.1 Nomenclature et budget

Nomenclature du boîtier de télécommande — liens vérifiés au 16/07/2026		
Poste	Rôle	Prix indicatif
Carte LilyGO T-A7670E R2 (version GPS)	ESP32 + modem 4G Cat-1, porte-SIM, antennes	≈ 35 €
Servo Power HD 1501MG	lever/baisser le levier d'injection (17 kg·cm)	≈ 25 €
Corde à piano Ø 2 mm, 2 chapes, capot servo	tringlerie — même boutique de modélisme que le servo (équerre alu : fond d'atelier)	≈ 8 €
Module 2 relais 5 V optocouplés	contact démarreur (+ 1 relais en réserve)	≈ 5,50 €
2 bucks XL4015 réglables 5 A	12 V → 5,0 V (carte) et 12 V → 6,0 V (servo)	≈ 13 €
Module MOSFET D4184 (lot de 5)	couper l'alimentation du servo au repos — grille pilotable en 3,3 V	≈ 9 €
Kit résistances ELEGOO 525 pcs	pont diviseur de mesure batterie — 100 kΩ et 22 kΩ inclus (17 valeurs)	≈ 12 €
Condensateurs 100 nF (lot)	filtrage du pont diviseur	≈ 7 €
Boîtier IP65 + presse-étoupes	protéger l'électronique	≈ 17 €
Porte-fusibles étanches (lot de 5)	avec fusibles lame 5 A et cosses — protection de la ligne 12 V	≈ 12 €
Panneau solaire 10 W + régulateur 5 A	maintien de charge pendant les périodes d'inutilisation	≈ 30 €
Option : pressostat à contact sec 1/4"	détection de marche à sec — prévoir aussi un té à compression D63	(≈ 35 €)

Nomenclature du boîtier de télécommande — liens vérifiés au 16/07/2026

Poste	Rôle	Prix indicatif
	tarauté 1/2" et une réduction laiton (boutique d'irrigation)	
Total matériel	hors option — SIM 4G à 2 €/mois déjà possédée	≈ 175 €

Prix « en lots ». Les liens ci-dessus privilégient le **regroupement des achats** (une commande Amazon, une commande modélisme, la carte chez LilyGO) : plusieurs postes sont des lots — 5 modules MOSFET, kit de 525 résistances... — d'où un budget supérieur au strict nécessaire ; le surplus alimente ateliers et dépannages. À l'unité en boutique spécialisée (Gotronic, Lextronic...), on redescend vers 140 €, au prix de frais de port multipliés. Spécifications à respecter en cas de substitution : buck **réglable** (4–38 V → 1,25–36 V, 5 A, type XL4015 — pas de modèle à sortie fixe 5 V) ; module MOSFET canal N **à niveau logique 3,3 V** (type D4184/AOD4184, pas d'IRF520) ; résistances 1/4 W ; condensateur céramique 100 nF.

4.2 Le câblage

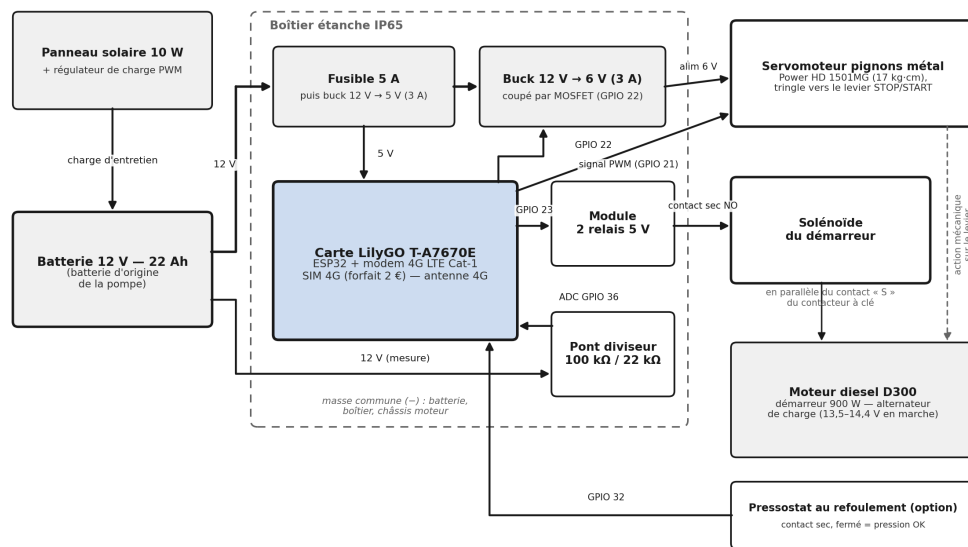
Points de câblage à soigner :

- **Fusible 5 A au plus près de la batterie** : c'est la seule protection de la ligne électronique. Le circuit démarreur d'origine, lui, n'est pas modifié.
- **Relais en parallèle du contact « S »** : repérer au multimètre, sur le connecteur du contacteur à clé, le fil qui passe à 12 V en position « démarrage » (fil du solénoïde). Le contact NO du relais se branche entre le **+ batterie** et ce fil.
- **Pont diviseur** 100 kΩ / 22 kΩ : divise la tension par ≈ 5,5 (14,4 V → 2,6 V, dans la plage de l'ADC). Le condensateur de 100 nF en parallèle de la résistance basse filtre les parasites du démarreur.
- **Masses communes** : batterie (–), boîtier, châssis moteur. Sans cela, ni la mesure de tension ni la commande du solénoïde ne sont fiables.
- **Pressostat au refoulement (option)** : monté sur un **té à compression D63 à dérivation tarautée 1/2"** (réduction laiton vers le 1/4" du pressostat), contact sec câblé entre le GPIO 32 et la masse (fermé = pression OK). C'est le détecteur de **marche à sec** : réglage typique 0,3–0,5 bar, bien en dessous de la pression de refoulement normale. Sans pressostat, laisser `PRESSOSTAT_PRESENT = false` en tête de firmware (valeur par défaut) ; l'ajouter plus tard ne demande que le té et une ligne à passer à `true`.

4.3 Le montage mécanique du servomoteur

Le support en tôle du levier (Figure 4) offre des perçages : y fixer une **équerre en aluminium** portant le servo, à 8–10 cm sous le levier. La liaison se fait par une **tringle en corde à piano Ø 2 mm** munie de **chapes** à chaque extrémité — palonnier du servo d'un côté, bouton du levier de l'autre. Trois règles :

(a) Schéma fonctionnel



(b) Vue « éclatée » isométrique (nomenclature numérotée)

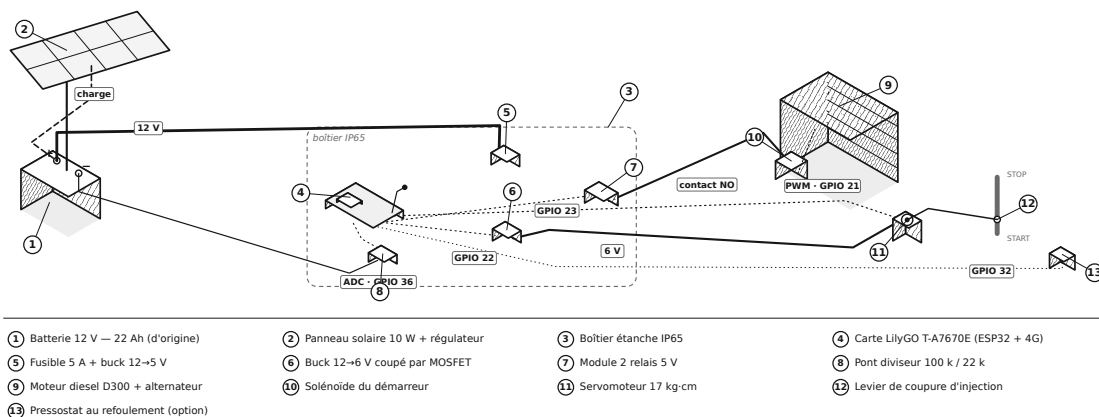


Figure 5. – Deux vues du même câblage. (a) La batterie de la pompe alimente tout : la carte via fusible 5 A et buck 5 V, le servo via un buck 6 V coupé par MOSFET ; le relais double le contact « S » du contacteur à clé (solénoïde du démarreur), le pont diviseur ramène le 12 V dans la plage de l'entrée ADC, toutes les masses (–) sont communes. (b) Les mêmes organes en perspective : câbles gras = puissance (12 V, 6 V, contact du démarreur), fins et tiretés = signaux de la carte (PWM du servo, GPIO du relais, mesure de tension à l'ADC, pressostat) ; le cadre pointillé délimite le boîtier IP65.

- Géométrie** : palonnier de 25–30 mm ; la course du servo ($\approx 90^\circ$) doit couvrir la course du levier (3–4 cm) avec un peu de réserve, **sans jamais arriver en butée** du servo (c'est la position calibrée dans le firmware qui définit les fins de course, pas la mécanique).
- Débrayable** : une chape se déclipse à la main — en cas de panne du boîtier, on décroche la tringle et la machine se conduit à la main comme d'origine.
- Protégé** : un capot (boîte de dérivation plastique retournée, découpe pour la tringle) coiffe le servo — pluie et poussière sont ses seuls vrais ennemis.

4.4 Le firmware

Le sketch Arduino complet (≈ 400 lignes commentées) accompagne cette note dans le dossier `firmware/motopompe_gsm/`. Il pilote le modem en **commandes AT** directes, sans bibliothèque exotique (seule dépendance : **ESP32Servo**).

Il tient aussi un **compteur horaire d'entretien** : le temps de marche est cumulé **uniquement moteur tournant** et conservé en **mémoire flash** (NVS de l'ESP32 — il survit aux coupures de batterie, sans carte SD ni fichier) ; le firmware décompte les heures depuis la dernière **vidange** et le dernier **nettoyage du filtre à air**, et glisse un avertissement « ENTRETIEN » dans les SMS d'état et d'arrêt dès qu'un seuil est dépassé. Il tient enfin un **journal des sessions** — neuf octets par arrosage (date, durée, auteur, motif d'arrêt), soixante sessions conservées dans la même mémoire flash — que les commandes **JOURNAL** et **EXPORT** restituent : c'est la matière du suivi de saison développé dans la note **NT-P1-07**. Son cœur est l'automate ci-dessous.

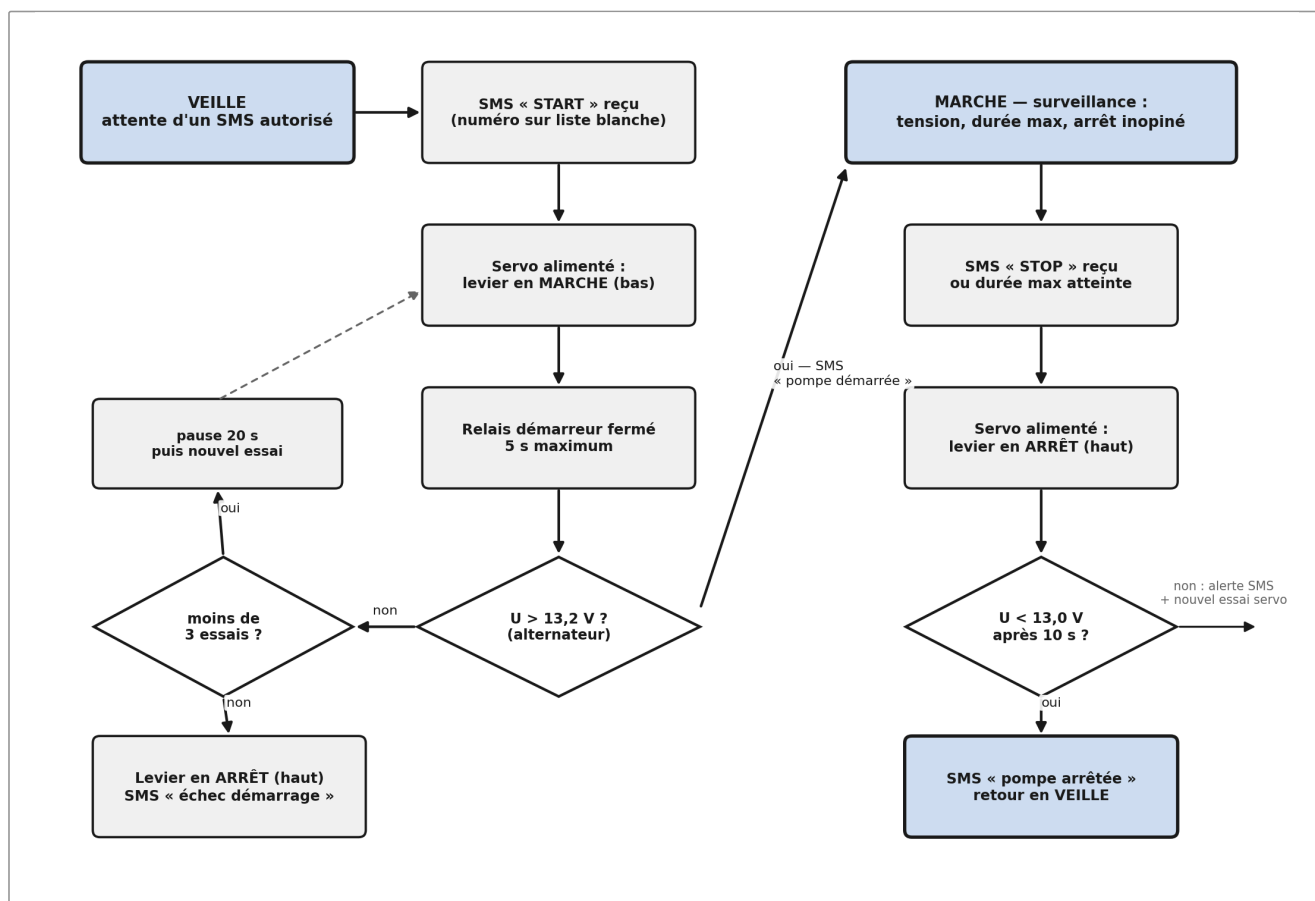


Figure 6. – Automate de démarrage et d'arrêt. Le démarreur n'est jamais actionné plus de quelques secondes ; trois essais espacés de 20 s maximum, sinon abandon propre (levier remis en arrêt + SMS d'échec). La preuve de marche/arrêt est toujours la tension de l'alternateur — le système ne « suppose » jamais.

Les commandes SMS — ``` = code partagé, toujours en dernier mot (§5)`

Commande SMS	Effet
START <code><code></code>	séquence de démarrage : levier en marche, démarreur 4 s, jusqu'à 3 essais, SMS de compte-rendu
STOP	levier en arrêt, vérification de l'arrêt effectif, SMS de confirmation — sans code et ouverte à tous , cf. §5.3
ETAT	SMS d'état : en marche/veille, tension batterie, durée de marche écoulée
TIMER 90 <code><code></code>	durée de marche maximale (minutes) avant arrêt automatique — garde-fou d'oubli
HEURES	compteur horaire : cumul de marche, heures depuis la dernière vidange (seuil 40 h) et le dernier nettoyage du filtre à air (seuil 25 h)
JOURNAL	bilan du journal de sessions : nombre de sessions, heures cumulées, volume et gazole estimés (note NT-P1-07)
EXPORT 20 <code><code></code>	les 20 dernières sessions en CSV, en plusieurs SMS — matière première du suivi de saison
VIDANGE <code><code></code>	enregistre une vidange d'huile faite — remet son décompte à zéro

Les commandes SMS — ``` = code partagé, toujours en dernier mot (§5)`

Commande SMS	Effet
FILTRE <code><code></code>	enregistre un nettoyage du filtre à air fait — remet son décompte à zéro
ADMIN <code><mdp></code> ...	administration des accès : ajout/retrait de numéros, rotation du code (§5.5)

Concrètement, le dialogue avec le boîtier ressemble à ceci — le **code partagé** (ici 4712) est toujours le **dernier mot** du message :

Dialogue type avec le boîtier (SMS émis sans accents, alphabet GSM oblige)

Vous envoyez	Le boîtier répond
START 4712	« Pompe demarree (essai 1). U = 13.8 V. Arret auto dans 120 min. »
STOP	« Pompe arretee (commande SMS). U = 12.6 V. »
ETAT	« Pompe EN MARCHÉ. U = 13.9 V. Marche depuis 42 min (max 120). Pression refoulement OK. »
TIMER 90 4712	« Duree max de marche : 90 min. »

Dialogue type avec le boîtier (SMS émis sans accents, alphabet GSM oblige)

Vous envoyez	Le boîtier répond
HEURES	« Compteur : 132 h 40 de marche. Vidange : 12 h 10 / 40 h. Filtre à air : 12 h 10 / 25 h. »
VIDANGE 4712	« Vidange enregistrée à 132 h 40. Prochaine alerte dans 40 h de marche. »
— (rien : alertes spontanées)	« ALERTE perte de pression au refoulement — arrêt automatique » · « ECHEC démarrage après 3 essais. Vérifier gazole, amorçage, batterie » · « ALERTE : arrêt inopiné de la pompe » · « ALERTE : batterie basse » · « ENTRETIEN : vidange à prévoir » (ajouté aux SMS d'état et d'arrêt)

En marche, le boîtier **surveille sans qu'on lui demande rien** : si le pressostat (option — activée par `PRESSOSTAT_PRESENT` en tête de firmware) signale une **perte de pression soutenue** (plus de 30 s, après un sursis d'amorçage de 60 s au démarrage), il **arrête la pompe de lui-même** et envoie l'alerte — c'est la protection contre la **marche à sec** (crépine désamorçée, tuyau arraché, canal à sec). Les autres garde-fous **machine : refus de démarrer** sous 11,8 V batterie, **durée de marche maximale** avec arrêt automatique, **alerte d'arrêt inopiné** (panne sèche de gazole...), **alerte batterie basse** en veille, **surveillance du modem** (réinitialisé s'il ne répond plus). Les garde-fous **d'usage** — qui a le droit de commander quoi, et quand — font l'objet de la section §5. Toute la configuration tient en tête de fichier :

```

static const char*
1  NUMEROS_AUTORISES[] =
  { "+33612345678" }; // socle en dur

static const char* NUMERO_SUPERVISEUR =
2  "+33612345678"; // alertes,
  traçabilité

static const char* CODE_USAGER_DEFAULT =
3  "4712"; // puis SMS ADMIN ...
  CODE

static const char* MDP_MAITRE_DEFAULT =
4  "CANOPEE-JARDINS-2026";

static const int HEURE_DEBUT = 6, HEURE_FIN
5  = 22; // créneau de démarrage autorisé

static const int SERVO_US_MARCHE =
6  1900; // levier en bas — à calibrer

static const int SERVO_US_ARRET =
7  1100; // levier en haut — à calibrer

static const float SEUIL_MOTEUR_TOURNE =
8  13.2; // V : alternateur en charge

static const float SEUIL_BATTERIE_BASSE =
9  11.8; // V : refus de démarrer

10 static const unsigned long DUREE_CRANK_MS
  = 4000; // démarreur : 4 s max

```

```

11 static const int          NB_ESSAIS_MAX
  = 3;

12 static const uint32_t SEUIL_VIDANGE_H =
  40; // alerte vidange (h de marche)

13 static const uint32_t SEUIL_FILTRE_H =
  25; // alerte filtre à air

```

4.5 La réalisation, étape par étape

Étape 1 — préparer la SIM. Insérer la SIM dans un téléphone et **désactiver le code PIN** (réglages sécurité SIM) : la carte ne sait pas le saisir. Vérifier au passage que la ligne envoie et reçoit bien des SMS.

Étape 2 — installer l'environnement de programmation.

1. Installer l'**IDE Arduino** (version 2.x, gratuite, [arduino.cc](https://www.arduino.cc)).
2. Ajouter le support ESP32 : **Fichier** → **Préférences** → **URL de gestionnaire de cartes supplémentaires**, coller https://espressif.github.io/arduino-esp32/package_esp32_index.json, puis **Outils** → **Type de carte** → **Gestionnaire de cartes**, chercher « esp32 » (par Espressif) et installer.
3. Installer la bibliothèque **ESP32Servo** : **Croquis** → **Inclure une bibliothèque** → **Gérer les bibliothèques**, chercher « ESP32Servo ».

Étape 3 — configurer le firmware. Ouvrir `motopompe_gsm.ino` (dossier `firmware/motopompe_gsm/` de cette note) et adapter la tête de fichier : votre numéro dans `NUMEROS_AUTORISES` et `NUMERO_SUPERVISEUR`, **vos propres** `CODE_USAGER_DEFAULT` et `MDP_MAITRE_DEFAULT` (§5), le créneau horaire, les seuils d'entretien si la notice du moteur diffère (`SEUIL_VIDANGE_H`, `SEUIL_FILTRE_H`), et plus tard les valeurs de calibration (servo, tension). C'est le **seul** endroit à modifier.

Étape 4 — téléverser. Brancher la carte en USB, choisir **Outils** → **Type de carte** → **ESP32 Wrover Module** et le port COM apparu, puis cliquer **Téléverser**. Si l'IDE affiche « Connecting... » sans aboutir, maintenir le bouton **BOOT** de la carte enfoncé jusqu'au début de l'écriture. Ouvrir ensuite le **moniteur série** (115 200 bauds) : le firmware y trace la mise en route du modem, la tension mesurée et chaque SMS reçu — c'est l'outil de mise au point.

Étape 5 — tester sur l'établi, carte seule. SIM insérée, antenne vissée, alimentation par USB : envoyer `ETAT` depuis le téléphone autorisé et vérifier la réponse. À ce stade, ni relais ni servo ne sont branchés — on valide la **chaîne SMS** seule.

Étape 6 — assembler l'électronique. Régler chaque **buck à vide au multimètre** (5,0 V et 6,0 V) **avant** d'y brancher quoi que ce soit — un buck neuf sort souvent sa tension d'entrée. Câbler ensuite selon la Figure 5 : bucks, module relais, MOSFET, pont diviseur, borniers. Tout tient sur une plaque de montage dans le boîtier IP65 ; les câbles sortent par des presse-étoupes.

Étape 7 — monter sur la pompe. Fixer le boîtier au cadre tubulaire (colliers), l'équerre du servo sur le support du levier, la tringle entre palonnier et levier ; repérer le fil du solénoïde au multimètre et raccorder le relais ; fusible au plus près de la

batterie ; pressostat sur son té au refoulement (si l'option est retenue) ; panneau solaire orienté sud sur un piquet.

4.6 Le brochage de la carte, en un coup d'œil

Toutes les broches utilisées sont déclarées en **tête du firmware** : ce tableau les récapitule, avec le repère correspondant de la Figure 5. Les broches du **modem** sont déjà câblées sur la carte LilyGO — rien à raccorder de ce côté ; seules les cinq premières lignes sortent vers le montage.

Brochage de l'ESP32 — affectations issues de la tête du firmware		
Broche ESP32	Rôle dans le montage	Repère fig. 5
GPIO 23	sortie vers le relais → solénoïde du démarreur (contact NO)	7 → 10
GPIO 21	signal PWM du servomoteur (levier STOP/START)	→ 11
GPIO 22	commande du MOSFET : alimentation 6 V du servo	6
GPIO 36	entrée ADC : tension batterie via le pont diviseur	8
GPIO 32	entrée pressostat — contact sec vers masse (INPUT_PULLUP)	13
GPIO 19	relais auxiliaire libre — extension future (cuve, 2 ^e pompe...)	—
GPIO 26 / 27 / 4	liaison interne ESP32 ↔ modem 4G — pré-câblée sur la carte	4

Deux règles d'or, quel que soit le modèle de carte : ne **jamais** faire transiter par un GPIO autre chose qu'un **signal logique** — le courant du solénoïde et du servo passe par le relais et le MOSFET, jamais par l'ESP32 — et **relier toutes les masses** (batterie, carte, châssis) en un point commun, faute de quoi ni la mesure de tension ni les commandes ne sont fiables.

4.7 La mise en service : calibrer, puis essayer par paliers

1. **Sur l'établi** : carte seule, SIM insérée (code PIN désactivé au préalable dans un téléphone). Vérifier l'enregistrement réseau et l'aller-retour ETAT → SMS reçu.
2. **Calibrer le servo à blanc** (tringle décrochée) : ajuster SERVO_US_MARCHE et SERVO_US_ARRET pour couvrir la course du levier sans forcer en butée.
3. **Calibrer la mesure de tension** : comparer le SMS ETAT au multimètre sur la batterie ; ajuster FACTEUR_TENSION.
4. **Premier démarrage télécommandé en votre présence**, pompe amorcée, vannes ouvertes : vérifier la séquence complète (START → démarrée, STOP → arrêtée), puis un cycle d'échec volontaire (levier bloqué en arrêt) pour voir l'abandon propre après 3 essais.

5. **Essai à distance réel** seulement après une semaine de fonctionnement local sans surprise, et un test de couverture réseau à l'emplacement définitif du boîtier.

5 Sécurité d'usage : partager la pompe sans partager les ennuis

Dès que la machine sert à **plusieurs jardiniers**, une question s'impose : qui a le droit de la démarrer, et comment retirer ce droit à quelqu'un qui s'en va ? La réponse tient rarement dans la cryptographie. Elle tient dans un **classement honnête des risques**, puis dans des parades proportionnées — dont plusieurs ne coûtent pas une ligne de code.

5.1 Hiérarchiser les risques avant de choisir les parades

Ce contre quoi on se protège vraiment	
Risque, par probabilité décroissante	Parade retenue
Mésusage d'un usager légitime (élevée) : démarrage vanne fermée, crépine hors d'eau, réservoir vidé, arrosage pendant une intervention sur la machine. Une garniture mécanique se détruit en quelques minutes de marche à sec	durée plafonnée (TIMER), pressostat de marche à sec (option), créneau horaire, délai entre deux démarrages, règlement d'usage affiché
Numéro resté autorisé (moyenne) après le départ d'un adhérent : démarrages non désirés, gazole consommé	rotation du code partagé — immédiate, par SMS — puis retrait du numéro
Usurpation du numéro d'expéditeur (faible) : un SMS « spoofé » via une passerelle commerciale contourne la liste blanche	le code partagé , que l'intrus devrait connaître en plus du numéro visé
Recherche du code au hasard (faible)	verrouillage après 3 codes erronés + alerte nominative au référent
Accès physique au boîtier (faible)	aucune, et c'est délibéré : qui atteint le boîtier atteint aussi la clé de contact et le levier d'injection

La leçon du tableau. Le risque dominant n'est pas le pirate, c'est la **fausse manœuvre d'un ayant droit**. Investir dans la cryptographie rapporte peu ; investir dans les **limites d'usage** (durée, créneau, délai entre démarrages) et dans la **traçabilité** (chaque démarrage notifié au référent) rapporte beaucoup. Dans une association, la transparence dissuade mieux qu'un secret.

5.2 Trois clés distinctes, trois usages

Trois clés indépendantes, révocables séparément :

Le **numéro de téléphone (liste blanche)** détenu par chaque jardinier habilité, il ouvre le **droit d'adresser des commandes** au boîtier. Il s'ajoute et se retire par SMS (ADMIN ... AJOUT / SUPPR) — sauf les numéros « socle » écrits dans le firmware, qui ne se retirent que par reflashing.

Le **code partagé (4 chiffres ou plus)** connu de tous les ayants droit — transmis de vive voix ou dans le groupe de discussion de l'association — il ouvre les commandes qui **agissent** sur la machine : START, TIMER, VIDANGE, FILTRE. Il se change par SMS (ADMIN ... CODE) : c'est le **levier de révocation immédiate**.

Le **mot de passe maître** détenu par le **seul référent irrigateur**, il ouvre l'administration des accès. Il se change par SMS (ADMIN ... MDP) ; oublié, il impose un déplacement et un reflashing.

Le bon réflexe quand quelqu'un s'en va : changer le code, pas la liste. Retirer un numéro laisse la porte ouverte à tous ceux qui connaissent encore l'ancien code (un téléphone prêté, un numéro noté). **Tourner le code** — un SMS, cinq secondes — invalide d'un coup tous les accès et ne le rend qu'aux ayants droit. En pratique : un code par saison, plus un changement à chaque départ.

5.3 Le principe directeur : ouvrir l'arrêt, fermer le démarrage

STOP **n'exige ni code ni liste blanche** — c'est délibéré. Un arrêt malveillant fait perdre un arrosage ; ne pas pouvoir arrêter une pompe qui tourne à sec coûte une garniture mécanique, voire le moteur. N'importe qui passant près de la parcelle et voyant un problème — un voisin, un randonneur à qui l'on a laissé le numéro affiché sur le panneau — doit pouvoir envoyer STOP et être obéi. La sécurité, ici, consiste à **ouvrir** cette commande, pas à la verrouiller.

Toutes les autres commandes qui **agissent** sur la machine (START, TIMER, VIDANGE, FILTRE) exigent le **code partagé** en fin de message. Les commandes de simple lecture (ETAT, HEURES) s'en dispensent : elles sont déjà réservées à la liste blanche et ne changent rien — s'imposer le code pour consulter n'ajoute aucune protection et décourage la consultation.

5.4 Chaque cas d'usage, en dialogue SMS

Le tableau ci-dessous couvre toutes les situations que le boîtier sait distinguer. Les quatre scénarios qui le suivent détaillent les plus fréquents dans la vie d'une association.

Les cas d'usage, du plus courant au plus rare	
Situation, et message envoyé	Ce que fait le boîtier
Arrosage normal d'un jardinier habilité → START 4712	démarre, répond « Pompe démarrée (essai 1)... », et prévient le référent : « Pompe démarrée par +336... pour 120 min. »
Faute de frappe sur le code → START 4713	« Code erroné. Format : START <code> ». — l'échec est

Les cas d'usage, du plus courant au plus rare	
Situation, et message envoyé	Ce que fait le boîtier
	compté (3 de suite = verrouillage)
Ancien adhérent dont le numéro a été retiré → START 4712	aucune réponse. Le silence est voulu : répondre confirmerait à un inconnu que le boîtier existe et écoute
Numéro inconnu , SMS publicitaire ou erreur → Votre facture est...	ignoré, sans réponse ni consommation de crédit
Recherche du code : trois essais successifs → START 1111, START 1234...	après le 3 ^e échec : plus aucune commande protégée pendant 15 min, et SMS au référent « ALERTE securite : 3 codes erronés, dernier depuis +336... »
Démarrage hors créneau , à 2 h du matin → START 4712	« Refus démarrage : hors créneau autorisé (6 h - 22 h). Il est 2 h. »
Redémarrage trop rapproché après un arrêt → START 4712	« Refus démarrage : arrêt trop récent, attendre 8 min (protection du démarreur). »
Batterie trop faible → START 4712	« Refus démarrage : batterie faible (11.4 V). »
Quelqu'un voit un problème sur le terrain , sans code ni habilitation → STOP	arrête la pompe et confirme — quel que soit l'expéditeur
Consultation sans agir → ETAT ou HEURES	répond à tout numéro de la liste blanche, sans code
Nouveau jardinier à habilitier → ADMIN <mdp> AJOUT 0612345678	ajoute le numéro en mémoire flash, confirme, et notifie le référent
Départ d'un adhérent → ADMIN <mdp> CODE 5310	change le code : tous les anciens codes deviennent inopérants

Scénario 1 — la soirée d'arrosage. Claire a la parcelle du bas, le code de la saison et son numéro dans la liste. À 19 h 40 :

- 1 Claire → boîtier : START 4712 [Text](#)
- 2 boîtier → Claire : Pompe démarrée (essai 1). U = 13.8 V. Arrêt auto dans 120 min.
- 3 boîtier → Olivier : Pompe démarrée par +33612345678 pour 120 min.
- 4 ... deux heures plus tard, sans que personne n'ait rien envoyé ...
- 5 boîtier → Claire : Pompe arrêtée (durée max atteinte). U = 12.7 V.

Le référent n'a rien à surveiller : il **sait** qui a démarré la pompe et pour combien de temps. C'est cette trace, bien plus que le code, qui rend les abus improbables.

Scénario 2 — l'accueil d'un nouveau jardinier. Marc rejoint l'association en juin. Aucun déplacement, aucun reflashing :

1 Olivier → boîtier : ADMIN CANOPEE-JARDINS-2026 AJOUT 0698765432 

2 boîtier → Olivier : Numero 0698765432 ajoute a la liste blanche.

Olivier lui communique le code de la saison de vive voix. Marc peut arroser dans la minute. Le numéro est écrit en **mémoire flash** : il survit à la coupure de batterie comme au téléversement d'une nouvelle version du firmware.

Scénario 3 — le départ d'un adhérent. Un jardinier quitte l'association fin août ; il connaît le code et son numéro est dans la liste. Deux SMS suffisent, dans cet ordre :

1 Olivier → boîtier : ADMIN CANOPEE-JARDINS-2026 CODE 5310 

2 boîtier → Olivier : Nouveau code usager : 5310. A communiquer

3 aux ayants droit ; l'ancien ne marche plus.

4 Olivier → boîtier : ADMIN CANOPEE-JARDINS-2026 SUPPR 0611223344

5 boîtier → Olivier : Numero 0611223344 retire.

Le **changement de code** est le geste qui compte : il coupe l'accès à quiconque l'aurait noté ou reçu, y compris depuis un autre téléphone. Le retrait du numéro n'est que du rangement.

Scénario 4 — le référent change de téléphone. Nouveau numéro, ancien perdu : le boîtier ne connaît plus personne d'habilité à administrer. C'est prévu — les commandes ADMIN sont acceptées **depuis n'importe quel numéro**, parce que c'est le **mot de passe maître** qui protège, pas la provenance du SMS :

Olivier (nouveau n°) → boîtier :

1 ADMIN CANOPEE-JARDINS-2026 AJOUT 0655667788 

2 boîtier → Olivier : Numero 0655667788 ajoute a la liste blanche.

Sans cette ouverture, la seule issue serait un déplacement au champ avec un ordinateur portable pour reflasher la carte.

5.5 Administrer les accès à distance

Toutes commencent par ADMIN suivi du mot de passe maître (noté <mdp> ci-dessous) :

AJOUT 0612345678 ajoute un numéro à la liste blanche, en mémoire flash.

SUPPR 0612345678 le retire — sans effet sur les numéros « socle » écrits dans le firmware.

LISTE renvoie la liste blanche complète (socle + ajouts).

CODE 5310 change le code partagé (4 caractères minimum).

MDP <nouveau> change le mot de passe maître (8 caractères minimum).

RESET vide la liste des ajouts et rétablit le code par défaut — sans toucher au mot de passe maître ni au compteur horaire.

Pourquoi une liste blanche « socle » en dur, malgré tout ?

Les numéros écrits dans NUMEROS_AUTORISES ne s'effacent pas : ils survivent à un RESET, à un effacement complet de la mémoire flash, à toute manipulation malheureuse. C'est le filet du référent. Les autres usagers s'ajoutent et se retirent par SMS, sans jamais toucher au filet.

Casse ignorée. Les téléphones capitalisent d'eux-mêmes le premier mot d'un SMS et corrigent parfois le reste : le boîtier passe donc tout en majuscules avant de comparer. Le mot de passe maître doit être **long** plutôt que compliqué — une suite de mots (CANOPEE-JARDINS-2026) vaut mieux qu'une casse savante qui ne sera pas respectée à la saisie.

Le mot de passe maître n'est pas stocké en clair : la carte n'en conserve qu'une **empreinte SHA-256**, salée par une valeur aléatoire tirée à la première mise en service. Deux boîtiers configurés avec le même mot de passe n'ont donc pas la même empreinte, et lire la mémoire flash ne le révèle pas.

5.6 Ce que ce dispositif ne protège pas

- **L'accès physique.** Qui atteint le boîtier atteint aussi la clé de contact et le levier d'injection : y consacrer des efforts cryptographiques serait absurde. La vraie protection physique s'appelle discrétion, éloignement de la route et, si besoin, un interrupteur à clé coupant l'alimentation du boîtier hors saison.
- **Le code partagé reste un secret partagé.** Il circule en clair dans les SMS et demeure dans l'historique des téléphones. C'est acceptable **parce qu'on le tourne** régulièrement — un code jamais changé finit par n'être plus un code.
- **Le verrouillage anti-force brute peut être détourné en nuisance** : trois SMS volontairement erronés bloquent les démarrages pendant un quart d'heure. On l'assume, parce qu'STOP reste actif, que la clé de contact reste utilisable, et que la manœuvre déclenche une alerte nominative au référent.
- **Le coût des SMS.** Chaque démarrage en consomme deux (accusé de réception à l'utilisateur, notification au référent) : quelques dizaines par saison, sans effet sur un forfait à 2 €/mois.
- **L'oubli du mot de passe maître.** Aucune procédure de récupération à distance — c'est ce qui en fait un mot de passe. Il faut alors se déplacer et reflasher la carte (MDP_MAITRE_DEFAULT puis effacement de la mémoire flash pour que la nouvelle valeur soit prise en compte). Le noter quelque part est un choix raisonnable ici.

5.7 Le volet qui n'est pas dans le firmware

Deux choses valent tous les codes du monde.

Un règlement d'usage, annexé au contrat de location de la parcelle et affiché près de la pompe : qui peut démarrer, l'obligation de vérifier vanne et niveau de gazole avant tout START, l'interdiction de démarrer quand quelqu'un peut se trouver près de la machine, la conduite à tenir en cas d'alerte. Un jardinier qui a signé cet engagement fait plus pour la longévité de la pompe que n'importe quel mécanisme embarqué.

Un registre tenu proprement : la liste des numéros habilités est une **donnée personnelle**. Se limiter au strict nécessaire

(nom, numéro, date d'habilitation), la conserver le temps de l'adhésion, et le mentionner dans le règlement — c'est à la fois une obligation et une marque de sérieux vis-à-vis des adhérents.

6 TL;DR — l'essentiel en une page

À retenir — version courte

Télécommander cette pompe = un relais pour démarrer, un servo pour arrêter.

Les 7 points clés :

- La **clé n'est qu'un interrupteur** : un relais en parallèle du contact du solénoïde démarre le moteur. Rien à modifier, tout reste utilisable à la main.
- L'**arrêt est mécanique** (levier de coupure d'injection) : un servo 17 kg-cm à pignons métal, monté sur le support existant, lève et baisse le levier par une tringle débrayable.
- **Carte ESP32 + modem 4G Cat-1** (LilyGO T-A7670E) pilotée par **SMS** — jamais de module 2G (réseau éteint courant 2026).
- Le « **moteur tourne** » se lit sur la tension : $> 13,2 \text{ V}$ = alternateur en charge. Aucun capteur ajouté.
- **Énergie** : batterie 12V — 22 Ah existante + panneau solaire 10 W d'entretien (la veille consomme $< 1 \text{ W}$).
- **Garde-fous machine** : démarreur 4 s $\times$ 3 essais max, durée de marche plafonnée, pressostat de marche à sec en option (arrêt auto + SMS), alertes batterie basse et arrêt inopiné, compteur horaire d'entretien (HEURES : vidange 40 h, filtre à air 25 h).
- **Garde-fous d'usage** : liste blanche de numéros + **code partagé** (START 4712) que l'on tourne à chaque départ, STOP ouvert à tous **sans code**, créneau horaire, délai entre deux démarrages, verrouillage après 3 codes erronés, notification du référent à chaque démarrage, administration par SMS ADMIN.

Budget : $\approx 175 \text{ €}$ + SIM 2 €/mois. Montage réversible en 10 minutes (fusible, deux fils, une tringle).

Tableau de bord : valeurs repères du boîtier

Paramètre	Valeur repère
Seuil « moteur tourne »	$U > 13,2 \text{ V}$ (alternateur en charge)
Refus de démarrage	$U < 11,8 \text{ V}$ (batterie à recharger)
Démarreur	4 s par essai, 3 essais max, pause 20 s
Durée de marche par défaut	120 min, réglable par SMS (TIMER)
Marche à sec (pressostat, option)	arrêt auto si perte de pression $> 30 \text{ s}$ (sursis d'amorçage 60 s)
Consommation de veille	0,6–1,2 W $\rightarrow$ panneau 10 W suffisant
Entretien (compteur horaire)	alerte vidange à 40 h de marche, filtre à air à

Tableau de bord : valeurs repères du boîtier

Paramètre	Valeur repère
	25 h — SMS HEURES, VIDANGE, FILTRE
Créneau de démarrage autorisé	6 h – 22 h (heure du réseau ; aucun blocage si elle est indisponible)
Délai imposé entre deux démarrages	15 min — protection du démarreur
Codes erronés tolérés	3, puis 15 min de verrouillage + alerte au référent (STOP reste actif)
Couple servo / effort levier	17 kg-cm $\approx$ 5–6 kg de poussée, pour 1–3 kg requis
Budget matériel	$\approx 175 \text{ €}$ (+ 2 €/mois de SIM)

7 Application pour Canopée : par paliers, et au-delà de la pompe

Montée en puissance du boîtier à Canopée

Niveau	Contenu	Objectif
1 — Télécommande	le boîtier de cette note : START/STOP/ETAT par SMS, compteur horaire d'entretien (vidange, filtre à air), gestion des accès par code partagé et SMS ADMIN	supprimer les trajets, fiabiliser les créneaux d'irrigation, planifier l'entretien, partager la machine entre jardiniers sans dérive
2 — Capteurs complémentaires	pressostat de marche à sec (té D63 au refoulement), capteur de niveau de cuve, micro de confirmation sonore (110 dB en marche), 2 ^e relais libre	croiser les détections, arrêt sur cuve pleine
3 — Programmation	horaires d'irrigation embarqués, journal des événements	irrigation nocturne sans SMS, suivi fin des saisons

Un montage, plusieurs machines — et un bel atelier. Le même trio carte + relais

1. servo télécommande **tout moteur thermique à démarrage électrique** dont l'arrêt

est mécanique : groupes électrogènes notamment — un candidat naturel du volet « autonomie énergétique » de l'association. Et la réalisation (soudure, Arduino, petite mécanique) fait un **atelier collectif** idéal : chaque participant repart en sachant lire un schéma, téléverser un firmware et calibrer un servo. Ce boîtier sécurise aussi l'**essai haricot sur friche**

(note NT-P1-03) : le goutte-à-goutte peut tourner au meilleur créneau, sans trajet.

8 Limites, précautions et idées reçues

8.1 Une machine qui démarre sans personne à côté : les règles

Le vrai risque n'est pas électronique, il est humain et hydraulique.

- **Signaler** : un panneau « machine télécommandée — peut démarrer à tout moment » sur la pompe, portant le numéro du boîtier et la mention « pour l'arrêter, envoyer STOP à ce numéro » (la commande d'arrêt est ouverte à tous, cf. §5.3). Ne jamais envoyer START quand quelqu'un peut intervenir sur la machine (plein de gazole, maintenance) — convenir d'un signal (tringle décrochée = consignation).
- **Ne démarrer que si l'hydraulique est prête** : pompe amorcée (le clapet anti-retour en pied d'aspiration maintient l'amorçage), vannes ouvertes, crépine immergée. La pompe est auto-amorçante mais **pas à sec indéfiniment** — quelques minutes sans eau détruisent la garniture mécanique. Le **presostat** (option) est le filet de sécurité (arrêt automatique + SMS), pas une autorisation à négliger l'amorçage.
- **Plafonner la durée** (TIMER) systématiquement : c'est l'assurance anti-oubli et anti-panne-sèche du réservoir (14 L ≈ 22 h : une nuit d'irrigation passe largement).

8.2 Limites techniques à connaître

- **Couverture réseau** : à vérifier **sur site, à hauteur du boîtier** (le téléphone à bout de bras ne prouve rien). Une antenne 4G déportée en hauteur (câble SMA) résout la plupart des cas limites.
- **Le SMS n'est pas temps réel** : un réseau chargé peut retarder une commande de plusieurs minutes. Le compte-rendu par SMS (« pompe démarrée ») est là pour ça : **pas de confirmation = ne pas supposer que c'est fait**.
- **Froid et batterie** : une batterie plomb à moitié déchargée par -5 °C peine à lancer un diesel. Le panneau solaire d'entretien est ce qui rend le démarrage hivernal fiable.
- **Vol et vandalisme** : boîtier discret, pompe si possible hors de vue de la route ; la SIM à 2 € permet, en extension, un SMS d'alerte quotidien (« heartbeat ») dont l'absence signale un problème.
- **Foudre et surtensions** : le fusible protège des courts-circuits, pas de la foudre. Débrancher le boîtier (et décrocher la tringle) hors saison d'irrigation.

8.3 Check-list saisonnière

À la remise en service (printemps) :

1. **Batterie** : tension au repos ≥ 12,4 V, cosses propres et serrées ; recharger avant le premier démarrage si l'hiver a été long.

2. **SIM et réseau** : envoyer ETAT et vérifier la réponse — forfait actif, couverture inchangée, tension cohérente avec le multimètre.
3. **Accès** : changer le **code de la saison** (ADMIN ... CODE), vérifier la liste blanche (ADMIN ... LISTE) et retirer les numéros des adhérents partis — c'est le moment de l'année où ce ménage se fait naturellement.
4. **Servo et tringlerie** : raccrocher la chape, faire deux allers-retours à blanc (machine consignée : ne jamais envoyer START pendant l'intervention), vérifier l'absence de point dur et l'état du capot.
5. **Étanchéité** : joints du boîtier et presse-étoupes sains, pas de condensation ni de nid d'insectes à l'intérieur.
6. **Premier START en votre présence**, pompe amorcée et vannes ouvertes, comme à la mise en service initiale.

À l'hivernage (fin de saison) :

1. Décrocher la tringle (consignation) et débrancher la ligne 12 V du boîtier au porte-fusible.
2. Charger la batterie à bloc ; idéalement, la stocker hors gel.
3. Rentrer le panneau solaire si le site est exposé (vol, grêle).
4. Envoyer HEURES et reporter le compteur dans le carnet d'entretien — le cumul est conservé en mémoire flash, batterie débranchée comprise. Profiter de l'hivernage pour solder ce qui approche des seuils, puis l'enregistrer (VIDANGE, FILTRE).

8.4 Le carnet d'entretien, compagnon du compteur

Le compteur horaire dit **quand** intervenir ; le carnet dit **ce qui a été fait**. Un cahier dans un sachet étanche près de la pompe (ou une note partagée entre les référents) suffit : à chaque intervention, reporter le compteur (SMS HEURES), l'opération, et ne pas oublier l'enregistrement SMS (VIDANGE, FILTRE) qui relance le décompte. Exemple :

Modèle de carnet d'entretien			
Date	Compteur	Opération	Observations
12/05	128 h 30	vidange (huile selon notice) — SMS VIDANGE	bouchon aimanté propre
12/05	128 h 30	filtre à air soufflé — SMS FILTRE	cartouche encore saine
03/06	141 h 10	plein gazole, contrôle de la tringlerie	RAS

8.5 Questions fréquentes

« **Une SIM prépayée suffit-elle ?** » — Oui, à condition qu'elle reste active : la plupart des offres prépayées expirent sans recharge périodique, et la ligne serait coupée sans prévenir. Un petit forfait bloqué (2 €/mois) est plus sûr pour un équipement qu'on ne manipule presque jamais.

« **Plusieurs personnes peuvent-elles commander la pompe ?** » — Oui, et c'est précisément l'objet du §5 : la liste blanche accepte autant de numéros que nécessaire — deux ou trois en dur dans le firmware (les référents), les autres ajoutés et retirés par SMS ADMIN sans se déplacer. Chaque expéditeur

reçoit le compte-rendu de sa propre commande, et le référent est notifié de chaque démarrage.

« **Le boîtier ne répond plus : que faire ?** » — D'abord patienter quelques minutes (réseau chargé), puis vérifier l'état du forfait depuis chez soi. Sur place : LED de la carte, tension batterie, fusible. Le firmware réinitialise de lui-même un modem muet ; en dernier recours, décrocher la tringle et conduire la machine à la clé, comme d'origine — c'est tout l'intérêt du montage réversible.

« **Et si je change de pompe ?** » — Le boîtier suit : tout moteur thermique à démarreur électrique et arrêt mécanique se pilote à l'identique. Seuls changent les points de fixation, le repérage du fil de solénoïde et la calibration du servo (SERVO_US_MARCHE / SERVO_US_ARRET).

« **Peut-on irriguer à heures fixes sans envoyer de SMS ?** » — Pas dans cette version : le choix assumé est de garder un humain dans la boucle (l'hydraulique doit être prête). C'est le palier 3 de la déclinaison Canopée (S7) : horaires embarqués dans le firmware, avec les mêmes garde-fous — et le SMS reste alors le canal de compte-rendu et de reprise en main.

« **Le compteur horaire survit-il au reflashage ?** » — Oui : la NVS occupe une partition de flash distincte du programme, et téléverser une nouvelle version du firmware ne la touche pas. Seul un effacement complet de la flash (« Erase All Flash Before Sketch Upload » dans l'IDE, ou `esptool erase_flash`) le remettrait à zéro — d'où l'intérêt de reporter régulièrement le compteur dans le carnet d'entretien. Le **journal des sessions**, stocké au même endroit, obéit aux mêmes règles.

« **Quelle différence entre le compteur horaire et le journal ?** » — Le compteur **cumule** depuis la mise en service et n'oublie jamais ; le journal **détaille** les soixante dernières sessions (date, durée, auteur, motif d'arrêt) et recycle ensuite les plus anciennes. Le premier sert l'entretien, le second le suivi de saison — leur exploitation fait l'objet de la note **NT-P1-07**.

« **Le journal ralentit-il le boîtier ou use-t-il la mémoire ?** » — Non : neuf octets écrits une fois par arrosage, soit quelques centaines de cycles d'écriture par saison, très loin de l'endurance de la flash (plus de 100 000 cycles). La fonction n'ajoute ni composant, ni consommation mesurable.

8.6 Dépannage express

Dépannage express		
Symptôme	Cause probable	Premier remède
Pas de réponse aux SMS	couverture, forfait suspendu, code PIN réactivé, modem bloqué	attendre 5 min (le firmware relance le modem de lui-même), vérifier le forfait depuis chez soi, puis LED et fusible sur place
Échec après 3 essais	gazole, amorçage perdu, batterie faible, servo mal calibré	niveau et robinet de gazole, tension indiquée dans le SMS d'échec, course du levier à la main
Arrêts inopinés répétés	panne sèche, filtre à gazole encrassé, prise d'air à l'aspiration	plein + purge du circuit, remplacement du filtre
Tension SMS ≠ multimètre	FACTEUR_TENSION à recalibrer, masse	refaire l'étalonnage de la mise en

Dépannage express		
Symptôme	Cause probable	Premier remède
	commune douteuse	service, vérifier les masses
Servo qui grogne ou force	butées SERVO_US_* trop ambitieuses, tringle grippée	recalibrer à blanc (tringle décrochée), graisser chapes et corde à piano
« Code erroné » alors que le code semble bon	code changé par un autre référent, espace manquant avant le code, correcteur du téléphone	redemander le code en cours ; vérifier la forme exacte START 4712 (un seul espace, code en dernier)
Plus aucune commande n'aboutit, mais STOP fonctionne	verrouillage après 3 codes erronés (15 min)	attendre le quart d'heure ; lire l'alerte reçue par le référent pour savoir d'où venaient les tentatives
EXPORT ne renvoie qu'un message, ou aucun	journal encore vide (aucune session depuis la mise en service), ou nombre demandé supérieur au contenu réel	JOURNAL donne le compte exact des sessions disponibles
Sessions datées « 00/00 » dans l'export	le modem n'avait pas encore reçu l'heure du réseau au moment du démarrage	sans gravité : la durée est juste, seule la date manque. Vérifier que AT+CTZU=1 est bien appliqué au démarrage du modem

8.7 Reprendre la main quand plus rien ne répond

Un boîtier muet ne doit jamais immobiliser l'irrigation. Par ordre croissant d'intervention, voici les quatre marches arrière possibles — la première suffit dans la grande majorité des cas :

Les quatre marches arrière, du plus simple au plus lourd	
Situation	Geste de secours
Le boîtier ne répond plus aux SMS	conduire la machine à la main : clé pour démarrer, levier d'injection pour arrêter. Décrocher la

Les quatre marches arrière, du plus simple au plus lourd		Les quatre marches arrière, du plus simple au plus lourd	
Situation	Geste de secours	Situation	Geste de secours
	tringle du servo si elle gêne. Rien d'autre n'est nécessaire pour arroser		le compteur horaire et le journal sont alors perdus, d'où l'intérêt du carnet et des exports mensuels
Le servo bloque le levier (butée dérégulée, tringle grippée)	déclipse la chape à la main : le levier redevient libre et la machine se conduit comme d'origine. C'est pour cela que la tringlerie est débrayable		débrancher le porte-fusible, décrocher la tringle, exploiter la pompe manuellement. Le montage est conçu pour que la machine soit intégralement utilisable sans lui
Plus personne n'a le mot de passe maître	se déplacer avec un ordinateur portable corriger MDP_ MAITRE_ DEF AUT en tête de firmware et téléverser avec effacement complet de la flash —	La carte est morte (foudre, eau, panne franche)	c'est la propriété qui rend l'automatisation acceptable sur un outil collectif

La règle qui résume tout : ne jamais rendre la pompe dépendante du boîtier. Chaque choix de cette note en découle — relais **en parallèle** du contacteur (et non à sa place), servo sur une tringle **débrayable**, commande STOP ouverte à tous, alimentation sur un **porte-fusible** accessible. Un jardinier qui

ne connaît rien à l'électronique doit pouvoir arroser le jour où le boîtier tombe en panne : c'est ce qui distingue une automatisation d'une dépendance.

8.8 Trois idées reçues à corriger

« **Il faut une carte GSM industrielle, c'est plus sérieux.** » — Non : un boîtier relais GSM du commerce coûte 2 à 4 fois le prix, dépend souvent encore de la 2G, et surtout **ne sait pas séquencer** un démarrage diesel (essais, détection de marche, abandon propre). Le firmware maison fait mieux, et il est modifiable.

« **Un servo de modélisme ne tiendra jamais dehors.** » — Un servo à pignons métal, **hors tension 99,9 % du temps**, sous capot, actionné en rampe quelques secondes par jour, travaille très en dessous de ses conditions de conception (une direction de voiture RC subit pire à chaque seconde).

« **Tourner la clé sur arrêt coupera bien le moteur.** » — Faux sur cette machine : aucun circuit d'arrêt électrique n'existe. Seul le **levier d'injection** arrête le moteur — c'est précisément pour cela qu'il faut un actionneur mécanique.

9 Annexe : le firmware en pratique

9.1 Compiler et téléverser en ligne de commande

L'IDE Arduino (§4.5) reste la voie la plus simple pour une première fois. Pour **reproduire** la compilation sans interface graphique — autre poste, vérification rapide après une retouche du firmware — **arduino-cli**, l'outil officiel en ligne de commande, suffit. Installation, **une seule fois** (le core ESP32 télécharge ≈ 500 Mo et occupe ≈ 1,8 Go ; sous Windows : winget install ArduinoSA.CLI, sous macOS : brew install arduino-cli, sous Linux : script du site) :

```
1 arduino-cli config init
2 arduino-cli config add
  board_manager.additional_urls \
3   https://espressif.github.io/arduino-esp32/package_esp32_index.json
4 arduino-cli core update-index
5 arduino-cli core install esp32:esp32
6 arduino-cli lib install ESP32Servo
```

Puis, depuis le dossier qui contient `motopompe_gsm/` :

```
1 # vérifier que le sketch compile
  (sans carte branchée)
2 arduino-cli compile --fqbn
  esp32:esp32:esp32wrover motopompe_gsm
3 # repérer le port série de la carte
  (COMx / /dev/ttyUSBx)
4 arduino-cli board list
5 # compiler + téléverser
  arduino-cli compile --upload --fqbn
6 esp32:esp32:esp32wrover -p COM5
  motopompe_gsm
```

```
7 # moniteur série (traces du firmware, Ctrl+C
  pour quitter)
8 arduino-cli monitor -p COM5 --config 115200
```

Même astuce qu'avec l'IDE : si « Connecting... » bloque au téléversement, maintenir le bouton **BOOT** de la carte jusqu'au début de l'écriture. Le core se désinstalle d'un `arduino-cli core uninstall esp32:esp32` si la place vient à manquer.

Les échecs les plus courants, à l'IDE comme en ligne de commande :

- `platform esp32:esp32 not installed` — le core ESP32 manque : reprendre les commandes d'installation ci-dessus (l'URL `additional_urls` d'abord).
- `ESP32Servo.h: No such file or directory` — bibliothèque absente : `arduino-cli lib install ESP32Servo` (ou le gestionnaire de l'IDE).
- « Connecting... » sans fin — bouton **BOOT**, ou câble USB de **charge seule** (sans fils de données) : les câbles de chargeur sont le piège classique.
- Port série absent ou occupé — fermer le moniteur série ouvert ailleurs ; vérifier le pilote USB-série de la carte (CP210x ou CH340 selon les lots).
- Compilation et téléversement corrects mais **aucun SMS** — ce n'est plus le firmware : code PIN de la SIM non désactivé, antenne mal vissée, couverture (cf. §4.5 étape 1 et §8).

9.2 Les réglages de la tête de fichier

Toute l'adaptation du firmware tient dans une quinzaine de constantes en tête de `motopompe_gsm.ino` — rien à modifier ailleurs. Les six premières lignes du tableau sont **propres à votre installation** (numéros, secrets, créneau), les deux suivantes sont à **calibrer sur la machine** (§4.7), le reste a des valeurs par défaut raisonnables :

Réglages de la tête de firmware		
Constante	Rôle	Défaut
NUMEROS_AUTORISES	liste blanche « socle » — numéros ineffaçables des référents	—
NUMERO_SUPERVISEUR	destinataire des alertes et des notifications de démarrage	—
CODE_USAGER_DEFAULT / MDP_MAITRE_DEFAULT	code partagé et mot de passe maître de première mise en service — modifiables ensuite par SMS ADMIN	—
HEURE_DEBUT / HEURE_FIN	créneau horaire de démarrage autorisé (0 et 24 pour désactiver)	6 / 22

Réglages de la tête de firmware		
Constante	Rôle	Défaut
DELAI_ENTRE_DEMARRAGES_MS	délai imposé après un arrêt avant le démarrage suivant	15 min
NB_ECHECS_MAX / DUREE_VERROU_MS	codes erronés tolérés / durée du verrouillage	3 / 15 min
SERVO_US_MARCHE / SERVO_US_ARRET	butées du servo (µs) — à calibrer à blanc sur la machine	1900 / 1100
FACTEUR_TENSION	rapport du pont diviseur — à calibrer au multimètre	5,545
SEUIL_MOTEUR_TOURNE	tension au-delà de laquelle le moteur est déclaré en marche (alternateur)	13,2 V
SEUIL_BATTERIE_BASSE	refus de démarrage et alerte de veille	11,8 V
DUREE_CRANK_MS / NB_ESSAIS_MAX	durée d'un coup de démarreur / nombre d'essais	4 s / 3
PRESSOSTAT_PRESENT	active la surveillance de pression au refoulement (option)	false
SEUIL_VIDANGE_H / SEUIL_FILTRE_H	seuils d'alerte du compteur horaire d'entretien	40 h / 25 h
JOURNAL_MAX	sessions conservées dans le journal embarqué (tampon circulaire)	60
DEBIT_LPM / CONSO_LH	coefficients de conversion du temps de marche en m ³ et en litres de gazole — à recalculer, cf. NT-P1-07	300 / 1,2

10 Références et pour aller plus loin

10.1 Matériel

- **Agrieuro** — fiche produit *Pompe thermique diesel Blackstone BD 8000ES* (caractéristiques moteur D300, démarrage électrique, batterie 12 V — 22 Ah) : agrieuro.fr
- **LilyGO** — carte *T-A7670E* (ESP32 + modem SIMCom A7670E, 4G LTE Cat-1) : lilygo.cc
- **RC Team** — servomoteur *Power HD 1501MG* (17 kg·cm sous 6 V, pignons métalliques, double roulement) ; la boutique fournit aussi corde à piano et chapes pour la tringlerie : rcteam.com

- **Gotronic, Lextronic** — boutiques françaises d'électronique vendant à l'unité (modules buck, MOSFET, résistances...), alternative aux lots Amazon : gotronic.fr · lextronic.fr
- **Mon-irrigation** — raccords à compression pour PEHD, dont le *té à dérivation taraudée* D63 nécessaire au montage du pressostat (option) : mon-irrigation.com

10.2 Réseau mobile : extinction 2G/3G

- **Arcep** — fiche pratique « *Fermeture des réseaux mobiles 2G et 3G : ce qu'il faut anticiper* » (calendrier par opérateur) : arcep.fr
- **Orange** — *Fin de la 2G et de la 3G : modernisation des réseaux* (vagues d'extinction 2026 en métropole) : reseaux.orange.fr

10.3 Logiciel

- **Firmware de la note** — `firmware/motopompe_gsm/motopompe_gsm.ino` (dossier de la note) : pilotage du modem en commandes AT, automate de démarrage, garde-fous, compteur horaire d'entretien.
- **Espressif** — *Non-Volatile Storage (NVS)* : la zone de flash de l'ESP32 où le compteur horaire persiste (accédée par la bibliothèque Arduino Preferences) : docs.espressif.com
- **Arduino** — *arduino-cli* : compilation et téléversement en ligne de commande (annexe de cette note) : arduino.github.io/arduino-cli
- **ESP32Servo** — bibliothèque Arduino de commande de servomoteurs sur ESP32 : github.com/madhephaestus/ESP32Servo
- **TinyGSM** — bibliothèque Arduino généraliste pour modems cellulaires (alternative aux commandes AT directes, utile pour aller vers l'IP) : github.com/vshymanskyy/TinyGSM
- **SIMCom** — *A76XX Series AT Command Manual* (référence des commandes AT du modem) : simcom.com
- **Mbed TLS** — bibliothèque cryptographique embarquée fournie avec le cœur ESP32 ; c'est son implémentation de *SHA-256* que le firmware utilise pour ne stocker qu'une empreinte salée du mot de passe maître (\$5.5) : mbed-tls.readthedocs.io

10.4 Sécurité d'usage et données personnelles

- **ANSSI** — *Recommandations relatives à l'authentification multifacteur et aux mots de passe* : la règle qui a guidé le choix d'un mot de passe maître **long** plutôt que complexe (l'entropie vient de la longueur, et la casse n'est de toute façon pas fiable en SMS) : cyber.gouv.fr
- **CNIL** — *Associations : mode d'emploi* et fiches « sécurité des données personnelles » : cadre applicable au registre des numéros habilités à commander la pompe — minimisation des données collectées, durée de conservation limitée à l'adhésion, information des adhérents (\$5.8) : cnil.fr
- **Arcep** — travaux sur *l'usurpation de numéro* (appels et SMS) et le mécanisme d'authentification des numéros imposé aux opérateurs : le rappel qu'un numéro d'expéditeur **n'est pas une preuve d'identité**, d'où le code partagé exigé en plus de la liste blanche : arcep.fr

- **Règlements intérieurs d'ASA d'irrigation** — à défaut de référence normative sur les motopompes partagées, les règlements des *associations syndicales autorisées* (tours d'eau, responsabilités, sanctions) sont le modèle le plus proche pour rédiger le règlement d'usage évoqué au §5.8 : se procurer celui de l'ASA la plus proche auprès de la chambre d'agriculture départementale.

10.5 Liens internes

- **NT-P1-07** — « **Ce que raconte le journal de la motopompe** » (Canopée) : l'exploitation du journal de sessions tenu par ce firmware — heures de marche, volume pompé, gazole, échéances d'entretien, répartition entre jardiniers. C'est la suite naturelle de cette note.
- **NT-P1-06** — « **Réseau d'arrosage : dimensionnement hydraulique** » (Canopée) : la note de calcul du réseau alimenté par cette pompe — débits, pertes de charge, pression au dernier asperseur. C'est elle qui donne les **durées d'arrosage** à programmer par la commande `TIMER`, et le **débit** à partir duquel se déduit le volume pompé.
- **NT-P1-03** — « **Cultiver le haricot sec en plein champ** » (Canopée) : l'essai sur friche irrigué au goutte-à-goutte que cette motopompe télécommandée alimente.
- **Guide d'usage de la motopompe** (Canopée, en préparation) : la déclinaison « adhérents » de cette note — conduite sur site et commandes à distance, sans électronique ni ligne de code, à remettre à chaque jardinier habilité.

Suivi des versions

Version	Date	Auteur	Modifications
A	14-07-2026	OLT	Création : analyse des organes de commande de la motopompe Blackstone BD 8000ES (contacteur à clé, levier de coupure d'injection, batterie 12 V) ; architecture de télécommande par SMS sur 4G (carte ESP32 + modem LTE Cat-1, relais sur le solénoïde de démarreur, servomoteur sur le levier d'arrêt) ; nomenclature chiffrée (≈ 130 €), schéma de câblage, automate de démarrage/arrêt, firmware Arduino complet, procédure de mise en service ; TL;DR ; application Canopée par paliers ; limites et précautions. 2 figures Python (câblage, automate).
B	16-07-2026	OLT	Nomenclature consolidée avec liens fournisseurs vérifiés (achats groupés) : bucks XL4015 réglables 5 A, module MOSFET D4184 à commande 3,3 V, kit de résistances ; pressostat passé en option (<code>PRESSOSTAT_PRESENT</code> dans le firmware) avec détail du piquage (té à compression D63 taraudé) ; correction des bandes LTE de l'A7670E (800 MHz/B20, pas de 700 MHz — préférer une SIM Orange/SFR/Bouygues à Free) ; panneau solaire re-justifié (périodes d'inutilisation) ; budget actualisé ≈ 175 €.
C	16-07-2026	OLT	Compteur horaire d'entretien : cumul des heures de marche conservé en mémoire flash (NVS, survit aux coupures de batterie), décomptes vidange (40 h) et filtre à air (25 h) configurables en tête de firmware, nouvelles commandes SMS HEURES / VIDANGE / FILTRE, avertissements ENTRETIEN ajoutés aux SMS d'état et d'arrêt ; tableaux des commandes, paliers Canopée et check-list d'hivernage mis à jour ; annexe « compiler et téléverser en ligne de commande » (arduino-cli, compilation du firmware vérifiée : 25 % de flash).
D	01-08-2026	OLT	Sécurité d'usage des commandes SMS (nouvelle section §5, illustrée par les dialogues de chaque cas d'usage) : code partagé exigé pour toute commande agissant sur la machine, STOP volontairement ouvert (sans code ni liste blanche), notification systématique du superviseur à chaque démarrage, créneau horaire autorisé (heure réseau), délai minimal entre deux démarrages, verrouillage anti-force brute ; administration à distance par SMS ADMIN protégée par un mot de passe maître haché (SHA-256 + sel) — ajout/retrait de numéros et rotation du code sans reflashage, liste blanche « socle » conservée en tête de firmware. Firmware, tableaux des commandes, réglages de tête, TL;DR, tableau de bord, check-list saisonnière, FAQ et dépannage mis à jour (compilation vérifiée : 27 % de flash).
E	01-08-2026	OLT	Journal des sessions embarqué : neuf octets par arrosage (date, durée, auteur, motif d'arrêt) conservés en mémoire flash dans un tampon circulaire de 60 sessions, nouvelles commandes SMS JOURNAL (bilan) et EXPORT (détail CSV multi-SMS), coefficients <code>DEBIT_LPM</code> et <code>CONSO_LH</code> ajoutés à la tête de firmware. Exploitation et figures dans la note NT-P1-07 ; lien croisé vers la note de dimensionnement hydraulique NT-P1-06, désormais au corpus.