RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

CCTP
FOURNITURE ET LIVRAISON D'INSTRUMENTS ET D'OUTILS DE TELETRANSMISSION DE DONNEES

Protocole LoRaWAN

CCTP

26-084_AC

Produit conçu avec le système de management de la qualité certifié AFAQ ISO 9001

Le Cerema[1], référent public en aménagement, accompagne l'État, les collectivités et les entreprises pour adapter les territoires au changement climatique.

Il joue un rôle clé dans l'élaboration et la mise en œuvre de politiques publiques nationales et de projets territoriaux adaptés au climat de demain dans 6 domaines d'activité : aménagement et stratégies territoriales, bâtiment, mobilités, infrastructures de transport, environnement et risques, mer et littoral.

Avec des équipes multidisciplinaires et 27 implantations sur les territoires de l'Hexagone et des Outre-mer, le Cerema dispose d'une approche globale pour conseiller, innover et fédérer.

www.cerema.fr

[1] Le Cerema est un établissement public relevant des ministères chargés de l'Aménagement du territoire et de la Transition écologique

CCTP FOURNITURE ET LIVRAISON D'INSTRUMENTS ET D'OUTILS DE TELETRANSMISSION DE DONNEES

Protocole LoRaWAN

Commanditaire : Direction Technique TV
Auteurs : Antoine VOLLAND, Pierre LORRIN

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V1	17/09/2026	

Références

N° d'affaire / NOVA : 25-TV-0314

Nom	Service	Rôle et fonction	
VOLLAND Antoine	DtercE	**Auteur principal**	
LORRIN Pierre	DtercE	**Responsable des achats**	
HUMBERT Myriam	DterO	**Valideur : responsable technique**	
LENTILLON Cédric	DtechTV	**Valideur : responsable de production**	

SOMMAIRE

Introduction 6
1 Contexte 7
1.1 Besoins généraux 7
1.2 Besoins Spécifiques 7
2 Objet du marche 8
3 Caractéristiques de l'instrumentation 9
3.1 Caractéristiques génériques 9
3.1.1 Caractéristiques obligatoires 9
3.1.2 Caractéristiques optionnelles 9
3.2 Caractéristiques par appareils 10
3.2.1 Capteur de température intérieure 10
3.2.2 Capteur de température et hygrométrie relative intérieure 10
3.2.3 Capteur de CO2 intérieur 10
3.2.4 Température, Hygrométrie et CO_2 10
3.2.5 Capteur QAI 11
3.2.6 Capteur Radon 11
3.2.7 Comptage d'électricité sur compteur 11
3.2.8 Sous-comptages électriques 11
3.2.9 Prises connectées 12
3.2.10 Capteur d'état pour ouvertures de fenêtres 12
3.2.11 Inclinomètre 12
3.2.12 Capteur de luminosité pour détection d'ouverture de protections solaires 12
3.2.13 Capteur de luminosité 12
3.2.14 Capteur de bruit intérieur 13
3.2.15 Capteur de bruit extérieur 13
3.2.16 Capteur de présence 13
3.2.17 Capteur de température et humidité de l'air extérieure 13
3.2.18 Station météorologique 13
3.2.19 Module d'expérience usager 14
3.2.20 Convertisseur analogique vers LoRa 14
3.2.21 Capteur de température PT-100 14
3.2.22 Convertisseur ModBus vers LoRa 14
4 Caractéristiques de télétransmission et stockage 15
4.1 Télétransmission et fourniture des données 15
4.1.1 Technologie de télétransmission 15

4.2 Détecteurs de réseau 15
4.2.1 Détecteur de réseau LoRaWAN 16
4.2.2 Détecteur de réseau 3G/4G/5G 16
4.3 Accessoires 16
4.3.1 Antenne LoRa 16
4.3.2 Câbles pour antenne LoRa 16
4.3.3 Câble RJ45 – 3m 16
4.3.4 Câble RJ45 – 10m 16
4.4 Passerelles 16
4.4.1 Passerelles intérieures 16
4.4.2 Passerelles intérieures avec port pour cartes SIM 17
4.4.3 Passerelles extérieures 17
4.4.4 Passerelles extérieures avec port pour cartes SIM 17
4.4.5 Passerelles extension de réseau 17
4.4.6 Stockage des données 17
5 Délais de fourniture, ACHEMINEMENT ET emballages 18
6 Aide au déploiement 19
6.1 Service après-vente 19
6.2 Reprise des matériels 19
7 Annexes 20
7.1 Exemple de données de sortie pour la connexion à l'entrepôt de données. 20

INTRODUCTION

Le présent marché doit permettre l'achat d'instruments et d'outils de télétransmission de données afin de mesurer diverses grandeurs physiques permettant des évaluations de la performance énergétique, de la sécurité, du confort, de la maintenance prédictive, de la conformité réglementaire, dans le domaine bâtiment.

1 CONTEXTE

1.1 Besoins généraux

Les besoins en instrumentation vont couvrir de nombreuses thématiques en lien avec le bâtiment :

- Énergie : Compteurs d'électricité, gaz, eau, chaleur, froid ; sous-comptage par usage.
- Environnement intérieur : Capteurs de température de l'air, humidité de l'air, concentration ppm CO_2, qualité de l'air, luminosité, détecteur d'ouverture
- Structure : Capteurs de déformation, vibration, fissuration (pour bâtiments sensibles).
- Exploitation : Gestion technique centralisée (GTC), GTB, etc.

1.2 Besoins Spécifiques

Dans le cadre de la présente consultation, le marché devra permettre l'acquisition de matériel d'instrumentation utilisable pour la mesure des performances au sein des bâtiments dans le cadre de projets d'évaluation portés par le Cerema.

Les données devront pouvoir être collectées, centralisées et consultables via une plateforme de données interne du Cerema.

L'interopérabilité entre les centrales d'acquisitions présentes au marché, et les capteurs de divers fabriquants ainsi que la plateforme de donnée est exigée.

Les durées des campagnes d'instrumentation, pouvant aller de quelques mois à plusieurs années, impliquent une grande autonomie des capteurs en termes de consommation électrique. Le choix du protocole de communication se porte sur LoRaWAN.

2 OBJET DU MARCHE

Le présent marché porte sur la fourniture d'équipements d'instrumentation à destination d'établissements publics, tertiaires ou de logements.

Ce marché vise notamment à couvrir les besoins d'instrumentation pour l'analyse des performances énergétiques et du confort thermique estival. Le projet Adapt Bati Confort porte notamment sur l'instrumentation de 50 opérations.

Ces équipements d'instrumentation auront pour objectif au travers des mesures qu'ils devront effectuer, de permettre d'une part, de préciser la situation actuelle en termes d'ambiance thermique intérieure et extérieure, de surchauffe estivale, de confort thermique et de consommations d'énergie dans les bâtiments, d'autre part, de tester in-situ certains systèmes innovants et quantifier leur efficacité vis-à-vis de l'amélioration du confort d'été.

Ce marché vise ensuite à couvrir les besoins d'instrumentation pour l'analyse des performances énergétiques de bouquets de travaux de rénovations financés par des CEE sur les enveloppes de 250 opérations dans le cadre du projet PRODICEE. Après un état des lieux avant/après de la rénovation énergétique qui sera effectuée sur ces maisons, ces équipements d'instrumentation permettront de vérifier l'adéquation de la rénovation avec les attendus prévus en conception, le ressenti des occupants et de vérifier la pérennité de ce constat et la durabilité des solutions.

Pour ces programmes, les prestations attendues, détaillées au paragraphe 3 du présent CCTP, comprennent essentiellement :

- La fourniture des équipements d'instrumentation couvrant toute la chaine d'acquisition de données des capteurs et permettant de les transmettre via internet à une plateforme de données Cerema ;
- Les services associés, incluant :
    - Le conseil sur les technologies de transmission de données et la préconisation de matériels répondant aux besoins énoncés plus loin ;
    - L'accompagnement à la prise en main et au déploiement des appareils, et le service après-vente des équipements sur la durée du marché ;
    - La livraison du matériel en France Métropolitaine.

La pose des équipements in situ est exclue du présent marché.

3 CARACTERISTIQUES DE L'INSTRUMENTATION

Dans cette partie, seront décrites les caractéristiques générales obligatoires et optionnelles de l'instrumentation qui sera installée pour chaque opération. Les spécifications des capteurs correspondant aux critères suivants devront être explicitées clairement par le titulaire pour chaque appareil. Les caractéristiques obligatoires sont les exigences minimales requises. Les caractéristiques optionnelles sont non obligatoires mais appréciées.

3.1 Caractéristiques génériques

3.1.1 Caractéristiques obligatoires

La précision et la résolution : pour chaque grandeur mesurée notamment sur des instruments comprenant plusieurs capteurs.

Pas de temps d'acquisition : il doit être modifiable avec des intervalles réguliers avec au minimum les pas suivants : 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 1h.

L'alimentation et l'autonomie associée : tous les capteurs devront communiquer sans fil avec le module de collecte de mesures. L'autonomie de chaque capteur devra être d'au moins 2 ans sans branchement sur le secteur, en mode de transmission classe A. Ils pourront être alimentés en continu et directement par le tableau électrique s'il s'agit de sous-compteurs de consommation électrique, par exemple.

Type et gestion des batteries : le remplacement de l'alimentation autonome (pile, batterie) devra être possible sans remplacement du capteur. Le titulaire précisera l'autonomie de chaque capteur en fonction des pas de temps de remontée de données. Les modèles de batteries devront être remplaçables et disponibles pendant 10 ans minimum à compter de l'achat initial.

Désactivation des affichages : afin d'augmenter l'autonomie des batteries et de ne pas influencer le comportement des usagers, les capteurs ayant des affichages visibles (écrans ou led indicatives) doivent comporter une option permettant de les désactiver.

Réglage des seuils des leds : les seuils des capteurs munis d'affichage led doivent pouvoir être modifiés de manières simple et rapide.

L'horodatage des données : le titulaire explicitera à minima l'horodatage des séries temporelles de tous les instruments.

L'ergonomie et l'encombrement des capteurs : les équipements d'instrumentation pouvant être installés dans des logements sur des périodes longues, une attention particulière sera portée à la discrétion et à l'apparence des capteurs. Le titulaire précisera, pour chaque type de capteur, les dimensions ainsi qu'une photographie de l'équipement.

Les technologies de mesures des capteurs devront être précisées.

Les éventuels traitements que les données subissent avant transmission (nettoyage des données, lissage, interpolation, auto calibrage, etc.) à la plateforme devront être précisés par le titulaire.

Chaque capteur devra être fourni avec un support d'installation adapté au minimum, soit par cheville et vis et/ou par adhésif.

3.1.2 Caractéristiques optionnelles

Le pas de temps d'acquisition des données, en plus des valeurs paramétrables obligatoires vues plus haut, pourront proposer des pas variables avec une acquisition déclenchée par une variation de la grandeur scrutée, afin d'optimiser les consommations électriques et allonger l'autonomie. Dans ce cas, les spécifications sont alors exprimées par les valeurs suivantes :

Delta : représente le seuil de déclenchement d'une mesure, en termes de variation de la grandeur mesurée, sur un temps compris entre le « Minrecord » et le « Maxrecord ».

Minrecord : représente le temps minimum entre 2 acquisitions de mesure, quelle que soit la variation de la grandeur sur cet intervalle de temps ;

Maxrecord : représente le temps maximum entre 2 acquisitions de mesure, quelle que soit la variation de la grandeur sur cet intervalle de temps.

3.2 Caractéristiques par appareils

La plupart des grandeurs mesurées pourront faire l'objet de mesures à partir d'un seul et même capteur. Ce couplage est indispensable pour la température et l'hygrométrie à minima. Les autres grandeurs pourront éventuellement faire l'objet d'un couplage selon la pertinence face aux mesures ou la faisabilité par rapport aux exigences génériques.

3.2.1 Capteur de température intérieure

Il s'agit d'une mesure de la température d'air, par capteur sans fil autoalimenté, d'une précision de 0,2-0,3 °C, d'une résolution de 0,1 °C sur une plage de mesure entre 0 °C et 50 °C. La mesure est exprimée en °C.

Le pas de temps de mesure devra être ajustable et comprendre au moins les valeurs fixes suivantes : 1 min (afin de pouvoir réaliser des étalonnages), 5 min, 10 min et 15 min.

Un pas variable peut être proposé s'il satisfait aux conditions suivantes : Delta = 0.5 °C, Minrecord = 1 min, Maxrecord = 1 h.

3.2.2 Capteur de température et hygrométrie relative intérieure

3.2.2.1 Température

Les caractéristiques attendues sont similaires au capteur de température seul vu précédemment.

3.2.2.2 Hygrométrie relative

Il s'agit d'une mesure de l'humidité relative de l'air, par capteur d'hygrométrie, sans fil et autoalimenté, d'une précision minimale de 3% entre 20 et 80% d'humidité relative, de 5% en dessous de 20% et en dessus de 80%, d'une résolution minimale de 0,5%. La mesure est exprimée en % d'humidité relative, avec une gamme de 5% à 95% minimum.

Le pas de temps de mesure devra être ajustable et comprendre au moins les valeurs fixes suivantes : 1 min (afin de pouvoir réaliser des étalonnages), 5 min, 10 min et 15 min.

Un pas variable peut être proposé s'il satisfait aux conditions suivantes : Delta = 3 %HR, Minrecord = 1 min, Maxrecord =1 h.

3.2.3 Capteur de CO2 intérieur

Il s'agit d'une mesure du taux de CO_2 à l'intérieur des bâtiments d'une précision de + ou – 50 ppm +5% de la valeur mesurée, d'une résolution de 1ppm sur une plage de mesure entre 0 et 3000 ppm. Les capteurs requis doivent s'appuyer sur la technologie infrarouge non dispersive (NDIR).

La mesure est exprimée en ppm (partie par million).

Le pas de temps de mesure devra être ajustable et comprendre au moins les valeurs fixes suivantes : 10 minutes ou 15 min, soit variable aux conditions suivantes : Delta = 50 ppm, Minrecord = 10 min, Maxrecord = 60 min.

Couplage possible avec des capteurs permettant l'acquisition d'autres grandeurs (T°, HR, etc.).

3.2.4 Température, Hygrométrie et CO_2

Certains capteurs très classiques pour l'évaluation du confort d'été peuvent être couplés comme la température, l'hygrométrie et la concentration en CO_2. Les caractéristiques attendues sont similaires aux capteurs indépendants vus précédemment.

3.2.5 Capteur QAI

Les multi-capteurs QAI présentent généralement un large éventail de polluants mesurés.

Les composés à suivre sont à minima :

- Le CO_2, les caractéristiques à suivre sont celles indiquées dans les paragraphes ad hoc ci-dessus
- Les $PM_{2,5}$ (mesure instantanée et mesure moyenne), avec une précision de +/- 15% maximum de la valeur mesurée
- Les PM_{10} (mesure instantanée et mesure moyenne), avec une précision de +/- 15% maximum de la valeur mesurée
- Le formaldéhyde, avec une précision de +/- 1 µ/m3 ou +/- 2 ppb maximum, de +/- 15% maximum de la valeur mesurée
- COV_{totaux} , avec une précision de +/- 1 µ/m3 ou +/- 2 ppb maximum de +/- 15% maximum de la valeur mesurée
- Et / ou $COV_{totaux\ légers,}$ avec une précision de+/- 1 µ/m3 ou +/- 2 ppb maximum de +/- 15% maximum de la valeur mesurée

Le titulaire précisera pour chaque composé les grandeurs dont il dispose comme la résolution, la précision, la gamme de mesure, etc.

Seuls ces capteurs spécifiques pourront faire l'objet d'une alimentation électrique en filaire compte tenue de la consommation plus importante des mesures demandées.

3.2.6 Capteur Radon

Il s'agit d'un capteur LoRaWAN pour des mesures en continue de la concentration en Radon.

La mesure s'exprime en Bq/m^3.

Le pas de temps entre les mesures devra être à minima de 10 minutes.

Le type et la technologie du capteur devra être indiquée et la méthode de comptage devra être précisée.

La gamme de mesure devra couvrir à minima la plage de 1 à 3700 Bq/m^3.

La précision devra être inférieure à 10% à 370 Bq/m3 après 10h.

La source d'alimentation et la consommation électrique devront être précisées.

3.2.7 Comptage d'électricité sur compteur

Il s'agit d'une mesure de l'énergie électrique consommée, sur les compteurs existants, par enregistrement de l'index cumulé depuis la sortie TIC (ou équivalent), BASE HCHC HCHP (en option éventuellement les autres sorties de la TIC comme IINST IMAX PAPP ou l'ensemble de la chaine de caractère TIC non décodée).

La mesure est exprimée en Wh.

Le pas de temps de mesure sera soit fixe, avec à minima les pas de 10 secondes et 10 minutes, soit variable aux conditions suivantes :

Delta = 1 Wh sur l'index cumulé, Minrecord = 10 s, Maxrecord = 600 s.

3.2.8 Sous-comptages électriques

Il s'agit d'une mesure de l'énergie électrique consommée, sur les départs des armoires électriques. La mesure est exprimée en Wh.

Le pas de temps de mesure sera soit fixe, à définir entre 10 secondes et 10 minutes, soit variable aux conditions suivantes : Delta = 1 Wh sur l'index cumulé, Minrecord = 10 s, Maxrecord = 600 s.

Ces sous-comptages concerneront l'intégralité des départs identifiables au niveau des armoires des logements (ballon d'eau chaude sanitaire, réfrigérateurs, éclairage, brasseurs d'air, …). Le titulaire

précisera la taille des pinces ampèremétriques utilisées, celles-ci devront être adaptées à l'instrumentation de tableaux électriques résidentiels avec instrumentation de tous les départs présents au tableau. Le nombre de pinces disponibles par capteur sera explicité. Le mode d'alimentation des modules centraux sera également explicité. Une centrale de mesure avec prise de courant, tension et cos phi sera privilégiée.

3.2.9 Prises connectées

Il s'agit d'une mesure de l'énergie électrique consommée par les appareils électriques de confort tels que les ventilateurs (lorsque le logement en est équipé). Un modèle sans bouton poussoir d'activation sera privilégié.

Le pas de temps de mesure sera soit fixe à 30 secondes, soit variable aux conditions suivantes : Delta = 1 Wh sur l'index cumulé, Minrecord = 30 s, Maxrecord = 3600 s.

Ils permettront de mesurer les consommations des équipements mobiles (ventilateurs par exemple).

3.2.10 Capteur d'état pour ouvertures de fenêtres

Il s'agit d'une mesure du statut de l'ouverture de la fenêtre, ouverte ou fermée. Le résultat est donc un booléen, 0 ou 1. La mesure est réalisée à chaque évènement, ouverture et fermeture avec une confirmation horaire du statut (Maxrecord = 60 min).

3.2.11 Inclinomètre

Il s'agit d'une mesure d'angle pour évaluer l'ouverture d'une fenêtre de toit ou d'une fenêtre oscillo-basculante. La mesure doit porter sur les 3 axes x,y,z, sur une plage de -90° à 90° avec une précision de 1° et une résolution de 0.01°.

La position du zéro du capteur doit être rapide et facile.

Les capteurs devront être étanche IP65 minimum et de taille compacte (montage sur ouvrant de fenêtre).

3.2.12 Capteur de luminosité pour détection d'ouverture de protections solaires

Il s'agit d'une détection d'ouverture et fermeture de protection solaire mobile en s'appuyant sur les données émises par un capteur de luminosité. Le résultat est exprimé en Lux, avec une plage de mesure entre 30 et 20 000 lux, une précision de + ou - 10 Lux et une résolution de 1 à 10 Lux. Le capteur ne doit pas saturer en **dessous** de 5 000 lux idéalement. Une sortie en unité arbitraire ou en % de l'échelle avec une résolution de quelque % suffit. Une sortie du capteur exprimée en unité physique (lux par exemple) n'est pas exigée.

Ces capteurs seront mis en place dans l'objectif d'observer l'usage des protections solaires mobiles par les occupants du logement. La partie sensible de l'instrument sera donc placée à l'intérieur du logement, sur le vitrage intérieur des fenêtres, en partie haute, la partie détection de luminosité étant orientée non pas vers l'intérieur du local **mais vers l'extérieur du local**.

Ces capteurs doivent être indépendants des autres afin que ces derniers ne soient pas perturbés par l'ensoleillement.

Afin de répondre à l'objectif d'observer l'usage des protections solaires par les occupants, le pas de temps de mesure sera le plus fin possible. Un pas de temps de 10 minutes fixe étant une valeur maximum.

Si le titulaire le souhaite, il peut proposer un autre type de capteur pertinent qui pourrait servir à cet usage. Dans tous les cas il détaillera l'intégration physique du capteur.

3.2.13 Capteur de luminosité

Il s'agit d'une mesure de la luminosité dans les pièces principales du logement (séjour, chambre principale). Le résultat est exprimé en Lux, avec une plage de mesure entre 30 et 20 000 lux, une précision de + ou - 10 Lux et une résolution de 1 à 10 Lux. Le pas de temps de mesure sera à minima

de 10 minutes fixe. Cette mesure devra autant que possible être réalisée au centre de la pièce, au niveau du plafond et orientée vers le bas.

Le couplage de ce type de capteurs avec d'autres types de capteurs (température, humidité, CO2…) pourra être proposé.

3.2.14 Capteur de bruit intérieur

Les caractéristiques attendues du capteur bruit intérieur sont les suivantes :

- Conforme IEC 61672-1 (classe 2 ou classe 1 en option)
- Mesure : LAeq, LCeq, LASmax, LAFmax, (LA10 et LA90 en option)
- Intégration temporelle paramétrable
- Plage de niveau : 20 dBA à 120 dBA
- Plage de fréquence : 20 Hz – 8 kHz
- Résolution : 0,1 dB
- Pondération temporelle : Fast + Slow
- Calibration terrain possible

En option :

- Niveau par bandes de tiers d'octave, plage 63 Hz à 8 kHz

3.2.15 Capteur de bruit extérieur

Le capteur de bruit extérieur aura les mêmes caractéristiques que pour le capteur de bruit intérieur.

L'indice IP devra être au minimum IP65.

3.2.16 Capteur de présence

Un capteur de présence de type infrarouge pourra être mis en place. Le couplage de ce type de capteurs avec d'autres types de capteurs (température, humidité…) pourra être proposé.

Les portées et angle de détection devront être explicités.

3.2.17 Capteur de température et humidité de l'air extérieure

Il s'agit d'une mesure extérieure, par capteur sans fil autoalimenté (batterie, capteur solaire) des paramètres suivants :

- Température d'air : plage de mesure -40 °C + 65 °C ± 0.3 °C
- Hygrométrie relative de l'air : plage de mesure 0 à 100 % ± 2 %

Le pas de temps de mesure devra être réglable, avec au moins un pas de 10 minutes.

Ces capteurs seront déployés à l'extérieur de tous les bâtiments, avec à minima deux par bâtiment.

Les capteurs extérieurs devront être muni d'un blindage contre les intempéries et la lumière directe.

Le couplage des capteurs de température et d'hygrométrie extérieur est exigé.

L'indice IP de protection devra être précisé.

3.2.18 Station météorologique

Il s'agit d'une mesure extérieure, par capteur sans fil autoalimenté (batterie, capteur solaire) des paramètres suivants :

- Température d'air : plage de mesure -40 °C + 65 °C ± 0.3 °C
- Hygrométrie relative de l'air : plage de mesure 0 à 100 % ± 2 %

- Vitesse de vent : plage de mesure minimale 0 à 200 km/h ± 3 %
- Direction du vent : plage de mesure 0°- 360° ± 3°
- Rayonnement solaire : plage de mesure 0 -1800 W/m² ± 5 %. La mesure devra être facilement comparable aux mesures de la luminosité de la détection d'ouverture.
- Pression atmosphérique : plage de mesure 880 à 1080 hPa ± 1hPa (optionnel)
- Précipitations : plage de mesure 0 à 6553 mm ± 4% (optionnel)

Le pas de temps devra être réglable à minima à 10 minutes fixe.

La transmission des données se fera idéalement avec le protocole LoRaWAN vers la passerelle retenue pour le bâtiment.

3.2.19 Module d'expérience usager

Selon les études menées, ce boitier doit permettre de recueillir l'appréciation d'un usager face à une situation défini lors l'installation. L'usager peut indiquer son niveau de satisfaction ou d'insatisfaction, par exemple lorsque la température ambiante de son lieu de travail devient trop importante.

Le boitier sera simple et comprendra une proposition de 3 choix sous une forme à préciser.

3.2.20 Convertisseur analogique vers LoRa

Pour des besoins d'adaptabilité des capteurs, la possibilité de brancher un capteur analogique comme un thermocouple ou un capteur de flux thermique sur un transmetteur LoRa non propriétaire pourra être nécessaire.

Le convertisseur analogique vers LoRa devra couvrir une gamme d'entrée 4-20 mA ou 0-10V et permettre l'alimentation d'un capteur jusqu'à 12V.

3.2.21 Capteur de température PT-100

Il s'agit d'une sonde de température PT100, 3 fils minimum afin de relever des températures internes de structures telles que des murs. La plage de mesure doit être de -50°C à +100°C minimum, avec une précision de +/- 0,5°C et une résolution de 0,1°C.

L'émetteur LoRa déporté devra être au minimum IP65. La longueur de câble devra être au minimum de 1m50.

3.2.22 Convertisseur ModBus vers LoRa

Pour la récupération de données de GTB ou d'appareils, ou pour accroître la portée de la transmission d'une information, des convertisseurs ModBus vers LoRa doivent être proposés.

4 CARACTERISTIQUES DE TELETRANSMISSION ET STOCKAGE

4.1 Télétransmission et fourniture des données

4.1.1 Technologie de télétransmission

La communication entre les capteurs et les passerelles devra être basée sur le protocole LoRaWAN. Pour la communication entre la passerelle et la plateforme de données Cerema, le titulaire précisera les technologies disponibles pour chaque type de passerelles permettant de collecter les mesures à distance. Plusieurs technologies sont proposées :

- Transmission via un réseau opéré (technologie A). Le titulaire devra fournir un équipement de vérification de la couverture associée pour valider la bonne mise en œuvre de cette solution ;
- Collecte des données via un module centralisé connecté au réseau 3G/4G/5G (technologie B). Le titulaire explicitera les caractéristiques du module centralisé associé ;
- Collecte des données via un module centralisé connecté en ethernet sur box internet privée en option (technologie C) ;

Le titulaire explicitera les avantages et inconvénients de chaque technologie proposée et indiquera celle qu'il juge la plus pertinente.

Le délai de remontée doit pouvoir être paramétrable et permettre des remontées calées sur le pas de temps des capteurs.

Le titulaire pourra proposer des solutions pour l'optimisation de l'envoi de trames par paquets pour l'ensemble des capteurs afin de favoriser l'économie d'énergie des capteurs. Nous acceptons un délai de 1 jour maximum entre le moment où la donnée est produite par l'instrument de mesure et le moment où cette donnée est disponible sur la plateforme de données Cerema. Toutefois, ce délai d'1 jour devra pouvoir être réduit si besoin afin de tester le bon fonctionnement de l'envoi à la plateforme.

Les passerelles devront pouvoir envoyer les données de façon sécurisée vers une plateforme de données Cerema avec au minimum les protocoles suivants : HTTPS, MQTT et SFTP. Tout autre protocole non mentionné peut être proposé dans la mesure où il garantit l'authenticité, l'intégrité et la confidentialité des données. Le titulaire devra alors fournir la documentation technique associée au protocole utilisé.

La plateforme de données Cerema permet l'intégration automatique de données transmises par les passerelles (Network Server) par API selon les caractéristiques suivantes :

- Protocole d'échange global (passerelle vers la plateforme de donnée) : HTTPS et MQTT
- Format de fichier : json
- Encodage du fichier : UTF8
- Timestamps des données mesurées : Unix (en milliseconde)

L'envoi de mesures selon ces caractéristiques est privilégié. Un exemple est fourni en annexe.

4.2 Détecteurs de réseau

Le titulaire devra proposer des testeurs de réseaux en lien avec les technologies proposées pour la télétransmission. Il peut s'agir de réseaux cellulaires 3G/4G/5G et de réseaux LPWAN LoRa. Ces outils doivent permettre de scanner les réseaux privés ou opérés et d'évaluer la qualité et l'intensité du signal.

4.2.1 Détecteur de réseau LoRaWAN

Le boitier doit permettre une évaluation de la couverture du réseau LORA propriétaire et du réseau LORA Orange y compris à l'intérieur des bâtiments.

4.2.2 Détecteur de réseau 3G/4G/5G

Le boitier doit permettre une évaluation de la couverture du réseau mobile 3G/4G/5G afin d'optimiser le placement des passerelles de communication.

4.3 Accessoires

Tous les équipements doivent être fournis avec des piles ou des chargeurs à minima.

Dans certains cas, l'alimentation et la connectivité internet pourront être assurée par PoE. Il peut être nécessaire de disposer de câble RJ45 pour pouvoir raccorder une passerelle au réseau internet du site.

4.3.1 Antenne LoRa

Le titulaire devra proposer une antenne pour améliorer la couverture réseau des passerelles en remplacement des antennes d'origines. Elles devront pouvoir être placées en extérieure et résister aux intempéries.

4.3.2 Câbles pour antenne LoRa

Le titulaire devra proposer des câbles pour permettre de déporter l'antenne LoRa de la passerelle à l'extérieur d'une GTB voire éventuellement jusqu'à l'extérieur d'un bâtiment afin d'améliorer la couverture réseau. Il devra être résistant aux intempéries. La longueur du câble sera précisée.

4.3.3 Câble RJ45 – 3m

Le titulaire devra fournir les caractéristiques des câbles proposés.

4.3.4 Câble RJ45 – 10m

Le titulaire devra fournir les caractéristiques des câbles proposés.

4.4 Passerelles

Les passerelles désignent les appareils permettant de récupérer les données transmises par les capteurs, qui les agrègent, éventuellement suppriment les doublons et les redirigent vers internet et l'entrepôt de données du Cerema.

Elles doivent être administrables par le Cerema en local et à distance si des mises à jour ou de la maintenance sont requises.

4.4.1 Passerelles intérieures

Chaque capteur devra être accessible avec la même passerelle afin d'assurer une interopérabilité maximum entre les besoins et les équipements.

La portée des passerelles devra être détaillée par le titulaire. Une portée d'environ 100m en intérieur est requise. La réponse des passerelles pouvant fortement dépendre de la typologie constructive des bâtiments, des valeurs types des SNR, RSSI, Spreading factor devront être précisées.

Le nombre de capteurs gérés par une seule passerelle devra être indiqué ainsi que toutes les informations utiles sur sa technologie.

La configuration des passerelles devra être administrables facilement par les agents du Cerema.

Les passerelles devront pouvoir être accessible à minima en filaire ou wifi pour pouvoir modifier leur configuration à distance.

Les passerelles pourront être alimentées par un transformateur sur prise de courant ou par un câble RJ45 en PoE.

Le redémarrage des passerelles ainsi que le recouvrement de la connexion avec les instruments appariés et avec le serveur de données suite à une coupure d'électricité devra être possible à distance.

4.4.2 Passerelles intérieures avec port pour cartes SIM

Dans le cas d'absence d'accès à une box internet ou à un réseau Wifi, la passerelle devra pouvoir recevoir une carte SIM M2M afin d'assurer la télétransmission depuis et vers le réseau internet.

Les autres caractéristiques de la passerelle précédente s'appliquent

4.4.3 Passerelles extérieures

Dans le cas de bâtiments de grande taille et afin de maximiser la portée des passerelles, celles-ci devront pouvoir être adaptées à la pose en extérieur selon la taille des opérations. L'alimentation et la transmissions des données seront similaires à celle pour l'intérieur.

Le titulaire devra indiquer les mêmes caractéristiques que pour les passerelles intérieures. L'indice IP devra être au minimum IP65.

Les autres caractéristiques de la passerelle précédente s'appliquent

4.4.4 Passerelles extérieures avec port pour cartes SIM

Dans le cas d'absence d'accès à une box internet ou à un réseau Wifi, la passerelle devra pouvoir recevoir une carte SIM M2M afin d'assurer la télétransmission depuis et vers le réseau internet.

Les autres caractéristiques de la passerelle précédente s'appliquent

4.4.5 Passerelles extension de réseau

Dans le cas de sites de grandes tailles pour lesquelles une passerelle extérieure seule ne suffirait pas, des passerelles simples pouvant fonctionnées en « flotte » devront être proposées afin d'étendre la couverture réseau de la passerelle principale à coût réduit, en évitant la démultiplication de passerelles complexes entrainant une possible augmentation du nombre de carte SIM.

4.4.6 Stockage des données

Pour éviter une perte sèche de donnée en cas de défaillance de la méthode de connexion au réseau internet, la solution complète de transmission pourra assurer un stockage des données, dans la mesure du possible, sur une période de deux semaines pour laisser le temps d'identifier et résoudre le problème de transmission.

Le titulaire devra indiquer la capacité de mémoire de la passerelle ou la possibilité d'étendre la mémoire par exemple à l'aide d'une carte SD (SD, micro, nano, etc.).

5 DELAIS DE FOURNITURE, ACHEMINEMENT ET EMBALLAGES

Il est demandé au titulaire de spécifier ses délais d'approvisionnement du matériel et les facteurs qui les conditionnent. Le délai d'approvisionnement du matériel souhaité est de 4 semaines .

Il est à noter que l'acheminement du matériel est à la charge du titulaire. Les acheminements seront tous en France métropolitaine. Le matériel à envoyer devra être assuré lors de l'envoi, aux frais du titulaire.

La réception du matériel sera effectuée par le Cerema. Pour chaque colis, le titulaire fournira une liste précise des capteurs envoyés, chaque capteur devant être identifié par un numéro unique (UID) ainsi que toutes les informations nécessaires à l'appairage avec les passerelles.

Le titulaire fournira également pour chaque colis une procédure de contrôle de bon fonctionnement des capteurs à réception permettant de valider l'étape de réception par le Cerema.

Les adresses de livraison pourront être différentes pour chaque commande passée dans le cadre du présent marché, en France métropolitaine.

Les emballages doivent être (par ordre décroissant de préférence) :

- Recyclés (minimum 70% de matières recyclées) ;
- Recyclables, c'est-à-dire disposant d'une filière de recyclage opérationnelle à l'échelle du territoire ;
- Mono-matériau afin de faciliter son recyclage.

Par ailleurs, les emballages doivent être exempts de métaux lourds (plomb, cadmium, mercure, chrome hexavalent) et de PVC.

6 AIDE AU DEPLOIEMENT

Les équipements devront pouvoir être préconfigurés par le Cerema afin de faciliter l'installation par un acteur tiers. Une vérification du bon fonctionnement de la connexion des équipements à la passerelle et de l'envoi de la passerelle à la base de données sera indispensable.

Afin de faciliter la configuration et le déploiement de l'instrumentation, le titulaire détaillera les éléments suivants :

Un protocole complet décrivant les procédures d'appairage entre les différents capteurs et les passerelles.

Un protocole d'installation ou de fixation des capteurs.

Dans le cas d'appairage multiple d'un groupe de capteurs pour un même passerelle, une méthodologie d'appairage par lot devra être proposée. Un fichier .xlsx ou .csv (ou autre format ne nécessitant pas de logiciel propriétaire) devra être fourni pour chaque commande et ce dernier devra lister les éléments suivants :

- Référence
- DevEui
- AppKey
- SerialNB
- AppEui

Un numéro d'appel devra être proposé par le titulaire en cas de besoin d'assistance lors du déploiement.

L'assistance devra être assurée les jours ouvrés, sur une plage horaire comprise entre 9h et 19h, pour une durée minimale de 6 heures par jour.

6.1 Garantie et Service après-vente

Le titulaire assurera un service après-vente de garantie des équipements.

Les équipements font l'objet d'une garantie minimale de deux ans. Le point de départ du délai de garantie est la date de notification de la décision d'admission.

Il s'engage notamment à remplacer le matériel en cas de défaillance dans un délai de quatre semaines et précisera sa réactivité le cas échéant. Aucun déplacement n'est à prévoir, le matériel défectueux sera renvoyé par voie postale le cas échéant.

Les frais d'envoi pour le retour du matériel défectueux sont à la charge du titulaire.

Si à l'expiration du délai de garantie, le titulaire n'a pas procédé au remplacement du matériel défectueux, le délai est prolongé jusqu'à l'exécution complète du remplacement.

6.2 Reprise des matériels

Dans le cadre de la réglementation de la reprise des Equipements Electriques et Electroniques (EEE), le titulaire précisera les conditions de retours en fin de vie ou de fin d'utilisation des capteurs.

7 ANNEXES

7.1 Exemple de données de sortie pour la connexion à l'entrepôt de données.

Exemple d'envoi de données :

```
openapi: 3.1.0
info:
title: Chantier Mesures API
version: 1.0.0
description: API passerelle pour l'ingestion de mesures capteurs sur un chantier.

servers:
- url: https://api.example.com/v1

paths:
/chantier/{id}/mesures:
post:
summary: Envoyer des mesures capteurs pour un chantier
operationId: postChantierMesures
tags:
- Mesures

parameters:
- name: id
in: path
required: true
description: Identifiant unique du chantier
schema:
type: string
example: "chantier-42"

- name: token
in: query
required: false
description: >
Token d'authentification de la passerelle.
Alternatif au header `Authorization`. L'un ou l'autre est requis.
schema:
type: string
example: "abc123xyz"

security:
- BearerAuth: []
- QueryToken: []

requestBody:
required: true
content:
application/json:
```

schema:
type: array
minItems: 1
items:
$ref: '#/components/schemas/Mesure'
example:
- capteur_id: "capteur-001_temperature"
timestamp: 1709380800000
valeur: 23.4
_meta:
unite: "°C"
type: "temperature"
- capteur_id: "capteur-002_humidite"
timestamp: 1709380800000
valeur: 65.2

responses:
"204":
description: Mesures ingérées avec succès (no content)

"400":
description: Payload invalide
content:
application/json:
schema:
$ref: '#/components/schemas/Erreur'
example:
code: "INVALID_PAYLOAD"
message: "Le champ 'timestamp' est requis (UNIX ms)."

"401":
description: Token invalide, manquant ou absent des deux sources
content:
application/json:
schema:
$ref: '#/components/schemas/Erreur'
example:
code: "UNAUTHORIZED"
message: "Token invalide ou expiré."

"404":
description: Chantier introuvable
content:
application/json:
schema:
$ref: '#/components/schemas/Erreur'
example:
code: "NOT_FOUND"
message: "Aucun chantier trouvé pour cet identifiant."

"422":
description: Données sémantiquement incorrectes (ex. capteur_id inconnu)
content:
application/json:

schema:
$ref: '#/components/schemas/Erreur'

"500":
description: Erreur serveur interne

components:
securitySchemes:
BearerAuth:
type: http
scheme: bearer
description: "Token passé via le header `Authorization: Bearer <token>`"

QueryToken:
type: apiKey
in: query
name: token
description: Token passé via le query param `?token=<token>`

schemas:
Mesure:
type: object
required:
- capteur_id
- timestamp
- valeur
properties:
capteur_id:
type: string
description: "Identifiant du capteur, format recommandé: {id}_{type}"
example: "capteur-001_temperature"

timestamp:
type: integer
format: int64
description: Horodatage en millisecondes UNIX (UTC).
example: 1709380800000

valeur:
type: number
format: double
description: Valeur brute de la mesure.
example: 23.4

_meta:
$ref: '#/components/schemas/MesureMeta'

MesureMeta:
type: object
description: Métadonnées de la mesure (optionnel).
properties:
unite:
type: string
example: "°C"

type:
type: string
example: "temperature"
enum:
- temperature
- humidite
- pression
- co2
- luminosite
- vibration
- autre

Erreur:
type: object
properties:
code:
type: string
example: "INVALID_PAYLOAD"
message:
type: string
example: "Description de l'erreur."



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Siège social : 2 rue Antoine Charial - 69426 Lyon Cedex 03
www.cerema.fr