

Carcassonne (11) – Cité de Carcassonne, remparts du Front Nord – étude structurelle des tours du Moulin du Connétable, Vieulas et de la Marquière, base de la tour Samson et des courtines 22-23, 23-24 et 24-25

CAHIER DES CHARGES DE SURVEILLANCE TOPOGRAPHIQUE ET INSTRUMENTATION

PHASE DIAG

Maîtrise d'ouvrage

Centre des Monuments Nationaux
Hôtel de Sully
62, rue Saint-Antoine
75 004 Paris

Maîtrise d'œuvre

Architecte :
Olivier Weets, A.C.M.H.
21, rue du Calvaire
92 210 Saint-Cloud
Tél : 01 46 02 24 19
o.weets@olivierweetsarchitecte.fr

Bureau d'Etudes :
BMI Patrimoine
30, rue Charles de Gaulle
94 140 Alfortville
Tél : 01 42 77 17 18
contact@bmi-patrimoine.fr

RÉSUMÉ

Cette notice structurelle en phase DIAG a pour objet l'étude des structures porteuses, courtines et tours au sud de la porte de Rodez, d'une partie des remparts du front nord de la cité de Carcassonne (11) qui est classée au titre du patrimoine mondial par l'UNESCO.

Elle se concentre uniquement sur les structures porteuses, principalement en maçonnerie, des parties suivantes des remparts de l'enceinte intérieure :

- tour Moulin du Connétable,
- tour Vieulas,
- tour de la Marquière,
- tour Samson (pour son soubassement uniquement),
- courtines :
    - 22-23 : entre la tour du Moulin et la tour Vieulas,
    - 23-24 : entre la tour Vieulas et la tour Marquière,
    - 24-25 : entre la tour Marquière et la tour Samson.

Les objectifs de l'étude sont :

- la synthèses des études précédente au cours duquel furent réalisées différentes investigations complémentaires,
- la préconisation, si cela s'avère nécessaire, des investigations complémentaires nécessaires pour compléter la définition des interventions de restauration,
- la définition des préconisations des interventions de restauration.

Elle se base, notamment mais pas exclusivement, sur les observations visuelles et photographies effectuées lors de notre visite sur place le 12 septembre 2025 ainsi que sur les photographies, plans et notices fournies par l'Architecte.

Cette mission d'étude structure est adossée à la mission d'architecte conduite par l'agence Olivier Weets Architecte, Architecte en Chef des Monuments Historiques, et ne peut en être dissociée.

Mots-clefs :

Diagnostic – Préconisation – Rempart – Maçonnerie – Etat des lieux – Infiltration d'eau – Dévégétalisation – Urgence

I. CONTEXTE

A. Introduction

Cette notice structurelle en phase DIAG a pour objet l'étude des structures porteuses, courtines et tours au sud de la porte de Rodez, d'une partie des remparts du front nord de la cité de Carcassonne (11) qui est classée au titre des Monuments Historiques depuis 1862 et au patrimoine mondial par l'UNESCO.

Elle se concentre uniquement sur les structures porteuses, principalement en maçonnerie, des parties suivantes des remparts de l'enceinte intérieure :

- tour Moulin du Connétable,
- tour Vieulas,
- tour de la Marquière,
- tour Samson (pour son soubassement uniquement),
- courtines :
    - 22-23 : entre la tour du Moulin et la tour Vieulas,
    - 23-24 : entre la tour Vieulas et la tour Marquière,
    - 24-25 : entre la tour Marquière et la tour Samson.

Les objectifs de l'étude de ces constructions sont :

- la synthèses des études précédente au cours duquel furent réalisées différentes investigations complémentaires,
- la préconisation, si cela s'avère nécessaire, des investigations complémentaires nécessaires pour compléter la définition des interventions de restauration,
- la définition des préconisations des interventions de restauration.

Elle se base, notamment mais pas exclusivement, sur les observations visuelles et photographies effectuées lors de notre visite sur place le 12 septembre 2025 et les photographies effectuées lors d'une précédente visite privée le 22 septembre 2022, ainsi que les photographies et plans et notices fournies par l'Architecte.

Cette mission d'étude structure est adossée à la mission d'architecte conduite par l'agence Olivier Weets Architecte, Architecte en Chef des Monuments Historiques, et ne peut en être dissociée.

<u>Remarque :</u> sauf indication contraire, les clichés et les schémas présents dans ce rapport ont été réalisés par nos soins ou l'Architecte le cas échéant.

B. Sources

Nous avons utilisé les documents suivants pour réaliser cette étude :

- Les plans, photos et archives transmis par l'Architecte,
- Les plans, photos et archives transmis par la Maîtrise d'Ouvrage,
- Nos propres relevés et photographies effectués lors de notre visite sur place le 12 septembre 2025 (ainsi que des photographies privées réalisées le 22 septembre 2022),
- Le rapport de diagnostic de l'Architecte : *Carcassonne, Cité de Carcassonne, Diagnostic à la restauration des Lices et des Remparts – Tranche 2, Octobre 2016, Olivier WEETS Architectes SARL, Architecte en Chef des Monuments Historiques*.

C. Références normatives

Sauf indication contraire, les normes utilisées dans le cadre de cette étude sont les suivantes (liste non exhaustive) :

- NF EN 1990 - Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures,
- NF EN 1991-1-1 - Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-1 : actions générales - poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments,
- NF EN 1992-1-1 - Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments,
- NF EN 1993-1-1 - Eurocode 3 - Conception et calcul des structures en acier - Partie 1-1 : généralités - règles communes et règles pour les bâtiments,
- NF EN 1995-1-1 - Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités - règles communes et règles pour les bâtiments,
- NF EN 1996-1-1 - Eurocode 6 - Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 1-1 : règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée,
- NF EN 1996-2 - Eurocode 6 - Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 2 : conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries,
- Les Annexes Nationales des précédents documents réglementaires.

D. Localisation des édifices

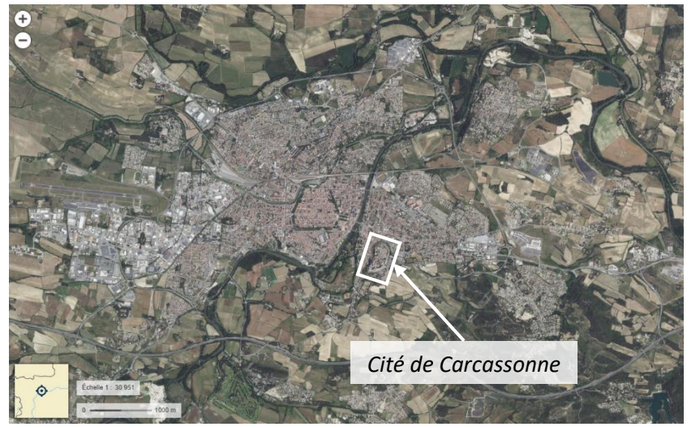


Figure 1 – Vue aérienne de la commune – source : geoportail.gouv.fr

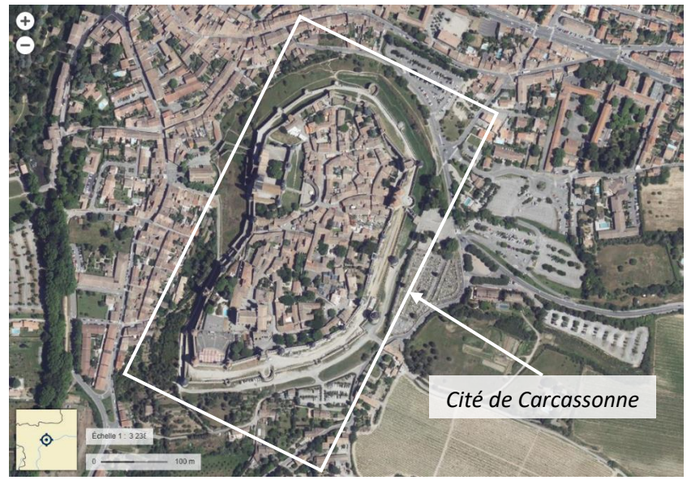


Figure 2 – Vue aérienne de la Cité – source : geoportail.gouv.fr

E. Préalables aux études

1. Carte Géologique

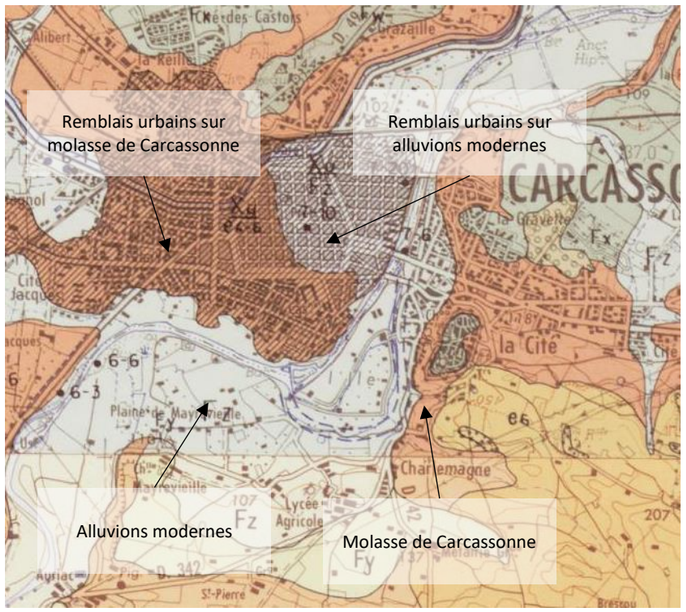


Figure 3 – Carte géologique de Carcassonne – source : infoterre.brgm.fr

2. Argiles

La Cité de Carcassonne est situé dans une zone présentant un risque important pour les phénomènes de retrait/gonflement des argiles.

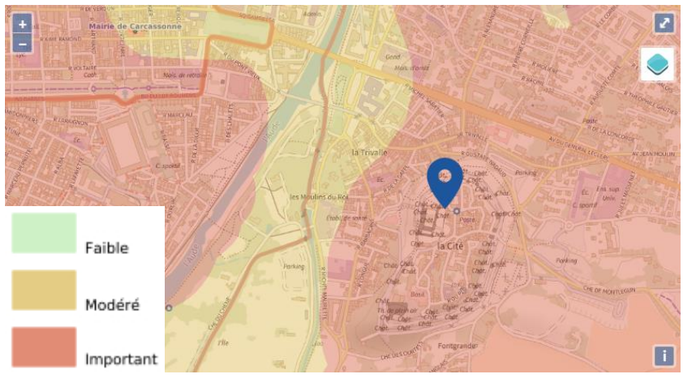


Figure 4 – Carte d'aléa des argiles gonflantes dans la zone globale de la commune – source : georisques.gouv.fr

3. Sismique

La Cité de Carcassonne, faisant partie de la commune du même nom, est située en zone 1 vis-à-vis du risque sismique (niveau d'aléa très faible). Il n'est pas nécessaire de prévoir d'intervention particulière vis-à-vis du risque sismique, en raison de la nature du bâtiment (monument ancien), et parce que sa vulnérabilité au risque sismique ne sera pas augmentée par les travaux prévus.

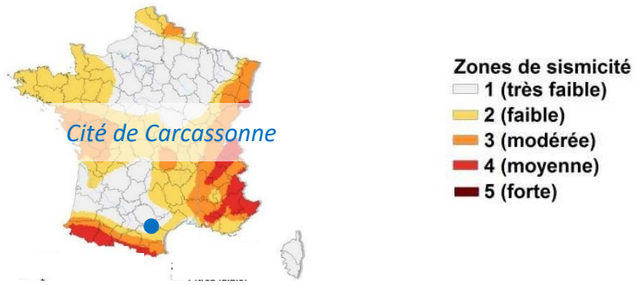


Figure 5 – Zonage sismique en France métropolitaine, source BRGM (mai 2011)

4. Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle

La commune a été reconnue en état de catastrophe naturelle pour :

- inondations et coulées de boue (1982, 1990, 1992, 1996, 1999, 2003, 2011, 2014, 2018 et 2020),
- sécheresse (1998, 2002, 2003, 2016, 2017, 2019, 2022 et 2023),
- mouvement de terrain (2018),
- secousse sismique (1996).

F. Historique succinct de l'édifice adapté à la structure

Une étude historique très détaillée est présentée dans le dossier de diagnostic de l'Architecte aussi pour plus de détails il faudra s'y référer et en ce qui concerne le front nord, pour la partie structure des édifices concernées par la présente étude, nous retenons trois principales phase de construction :

⇨ Antiquité :

- La datation de la partie de la plus ancienne est incertaine et ces parties dateraient soit l'époque Gallo-romaine soit Wisigoth mais sa technique d'appareillage apparaît vers le III^{ème} après J-C. Nous qualifierons ces ouvrages comme antiques.

⇨ Deuxième moitié du XIII^{ème} siècle (après 1240) :

- Construction de l'enceinte extérieure donc création de lices avec leur décaissement dans un but défensif.
- Reprise en sous-œuvre des tours antiques.
- Reprise par surélévation et remaniement avec conservation des courtines antiques.
- Surélévation des tours antiques.

⇨ Deuxième moitié du XIX^{ème} siècle (à partir de 1845) et début du XX^{ème} siècle :

- Restauration, avec certains remaniements plus ou moins importants, de l'ensemble des remparts y compris le front nord avec reconstruction de parties endommagées et légère surélévation de certaines des tours et création de couvertures, sur charpente bois, des tours en ardoises puis en tuiles.

G. Périmètre de l'étude

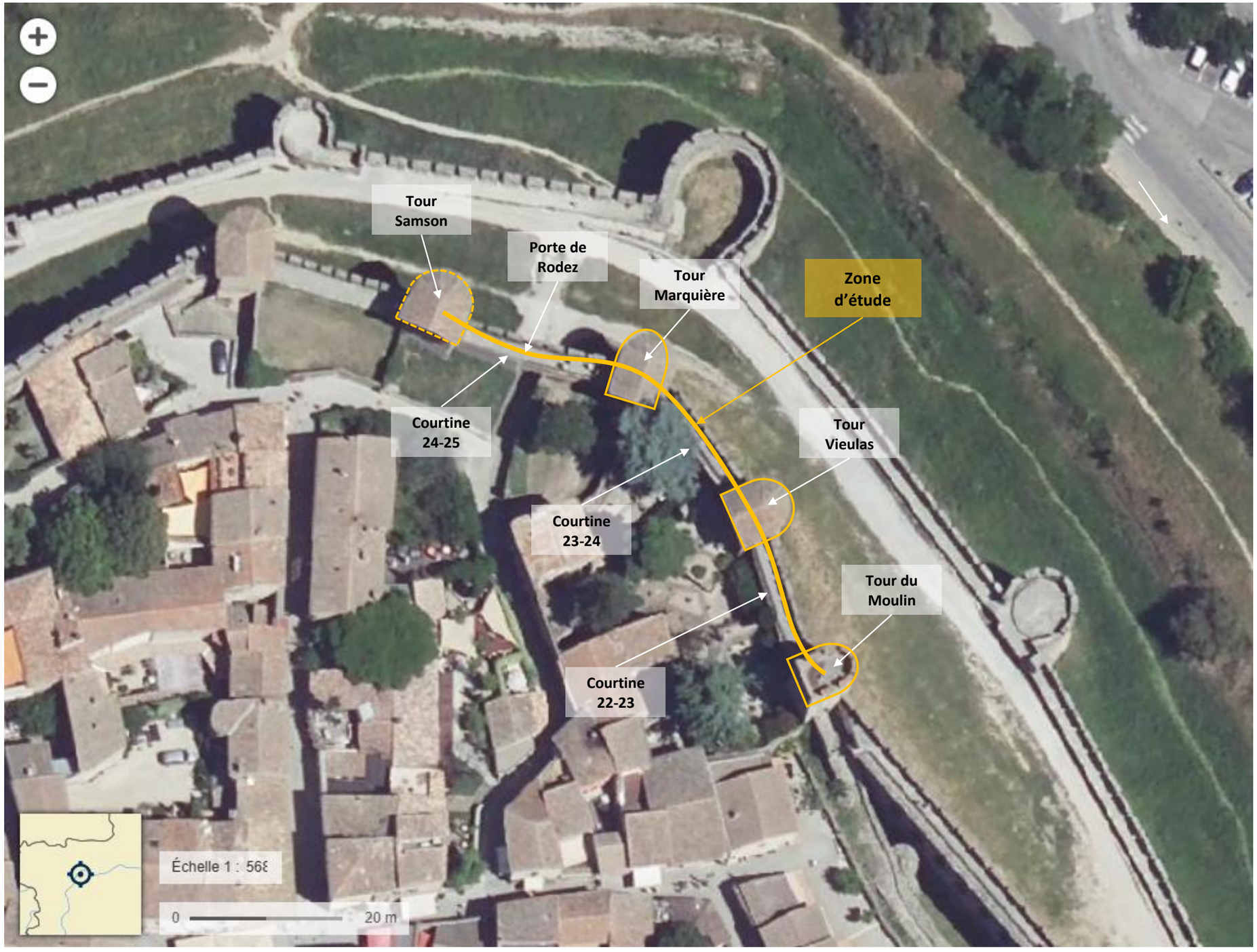


Figure 6 : Vue en plan de la zone et des édifices concernés par l'étude – fond de plan : geoportail.gouv.fr

II. PRECONISATIONS POUR LA MISE EN PLACE DE DISPOSITIFS DE SURVEILLANCE ELECTRONIQUE

A. Objectifs de l'étude

L'analyse des mesures fournies par l'analyse topographique électronique à mettre en œuvre devra permettre de conclure sur les points suivants :

- déterminer le caractère évolutif ou non des mouvements au sein des structures maçonnées responsables des désordres en cours :
  - pour les courtines,
  - pour les tours ;
- caractériser les amplitudes et directions de ces éventuelles évolutions ;
- déterminer si des zones nécessitent un étaiement provisoire d'urgence.

B. Généralités

1. Connaissance des lieux et accès

L'entreprise doit prendre connaissance des lieux dans le cadre de la présente consultation. L'entreprise sera attentive aux accès disponibles pour l'amenée et la mise en place du matériel nécessaire à la pose des instruments de mesure. Ce matériel sera adapté par sa taille à l'accessibilité du lieu.

2. Sécurité

L'entreprise s'assurera de la sécurité du site, pour le public, les riverains et pour le personnel exécutant pour toute la durée de son intervention.

L'entreprise prévoira toutes les sujétions d'accès pour assurer en toute sécurité la pose des instruments situés en hauteur.

3. Remise en état en fin de mission

En fin de mission**,** les appareils de mesure électronique devront être déposés par l'entreprise, compris toutes sujétions d'accès à sa charge (voir ci-dessus).

En fin de mission l'entreprise prévoira le rebouchage soigneux des trous de scellement réalisés pour la fixation des appareils et la remise en état des revêtements impactés conformément aux préconisations de l'architecte.

En particulier, le mortier utilisé devra être compatible avec l'existant.

C. Électronique à mettre en place

a. Offre de base : suivi temps réel permanent

L'instrumentation à mettre en place sur les murs extérieurs de courtines et tour de rempart sera composée des instruments suivants :

- **1 suivi par théodolite de précision automatisé** de l'ensemble du linéaire des remparts concernés par l'étude à l'aide de mires métalliques fixés mécaniquement dans les joints des maçonneries.
  - Les cibles seront les plus discrètes possible.
  - Relevé du positionnement en X, Y et Z de l'ensemble des cibles.
  - Précision : +/- 0,1 mm
  - Fréquence de mesure : 10 min maximum
  - Localisation : 2 niveaux x 9 cibles dont les emplacements sont détaillés dans les plans en annexe du présent document:
    - tours et courtines (niveau bas et niveau haut)

- Cette méthode permet :
  - un suivi de surveillance permanent en temps-réel permettant un suivi précis y compris pendant la phase travaux,
  - des relevés d'une très grande précision

L'instrumentation est prévue pour d'une durée de 1 an avant les travaux, puis pendant les travaux (durée estimée à 2 ans) et enfin d'une durée de 1 an après les travaux.

- Cette méthode nécessite :
  - l'installation permanente de cible à installer puis maintenir et enfin à déposer en fin de mission avec les implications en termes d'accès en hauteur,
  - l'installation permanente du théodolite avec les contraintes de sécurisation associées compte de l'ouverture du site au public.

Les éventuelles dispositions auxiliaires nécessaires à la réalisation de ce suivi devront être précisées dans le mémoire technique rendu par l'entreprise.

L'étude inclut les tours avec leur élévation cylindrique qui devront être relevées de manière précise également.

b. Seuil d'alerte

Les désordres observés de manière visuelle du moins ne relèvent pas d'une situation d'urgence, il n'est donc pas nécessaire de définir un seuil d'alerte par rapport à la première mesure mais une vigilance sera nécessaire tout de même si les mesures révèlent des évolutions importantes.

Le seuil d'étalonnage devra être choisi judicieusement et son ajustement est possible après la première mesure, pour adaptation aux amplitudes des mouvements éventuellement détectées dans les superstructures maçonnées.
En revanche les modifications ultérieure devra être discutée avec la MOE et la MOA.

Les éventuelles dispositions auxiliaires nécessaires à la réalisation de ce suivi devront être précisées dans le mémoire technique rendu par l'entreprise.

D. Mesures et acquisition (suivi scanner 3D)

L'entreprise (éventuellement géomètre) est libre de proposer tout appareillage permettant d'obtenir les résultats escomptés. Cependant elle doit impérativement remettre à l'appui de son offre les fiches techniques correspondant aux dispositifs qui seront mis en place.

Le suivi, fréquence et durée, sera réalisé selon les directives de la MOA en concertation avec la MOE. La durée minimal d'instrumentation sera 1 an.

La mission d'instrumentation comprend les opérations de maintenance sur les dispositifs mis en œuvre sur cette période.

L'entreprise doit prévoir les moyens d'accès pour la pose et la dépose des dispositifs mis en place.

En fin de mission, les dispositifs mis en place seront déposés.

E. Surveillance

Le suivi par instrumentation sera réalisé sur **une période de minimum un an**. La mission d'instrumentation comprend les opérations de maintenance sur les instruments et la centrale de mesure sur cette période.

L'entreprise devra chiffrer en tranche optionnelle le coût d'une prolongation pour chacun des instruments au cas où il serait relevé une évolution significative localisée à une zone en particulier ou même globale.

III. ANALYSE DES RESULTATS ET RAPPORTS ATTENDUS

A. Rapport d'installation

Il sera produit un rapport d'installation comprenant pour chaque instrument électronique :

- numérotation **respectant dans la mesure du possible la nomenclature utilisée dans le présent cahier des charges,**
- type d'instrument et sa fiche technique,
- date de mise en place,
- localisation de l'instrument,
- fréquence de prise de mesure prévue pour cet instrument,
- observations éventuelles lors de la mise en place,
- photographie de l'instrument installé.

De plus, le rapport d'installation présentera un plan récapitulatif de localisation pour l'ensemble des instruments avec leur numérotation.

B. Rapports périodiques de suivi

1. Généralités

Les mesures issues de l'instrumentation électronique seront compilées et analysées dans des **rapports trimestriels** pendant la durée de la mission.

Toutes mesure ou constatation anormale fera l'objet d'un message électronique et/ou d'un appel téléphonique suivant un protocole défini en début d'opération

2. Résultats issus de l'instrumentation électronique

Le rapport périodique de l'entreprise devra inclure une évaluation critique de l'évolution des mesures constatées.

Le cas échéant, le rapport fera état des évènements significatifs qui auraient pu avoir une influence ou expliquer des « sauts » dans les mesures, par exemple :

- intervention de maintenance,
- changement d'emplacement pour raison extérieure,
- événement climatique,

Les sauts de mesures qui ne pourraient pas être reliés directement à une des causes explicables seront identifiés, et l'impact sera quantifié (par exemple : saut de 3 mm apparu sur 2 mois).

Les mesures seront présentées sous forme de graphique (voir précisions sur la présentation ci-dessous).

3. Modalités de présentation des graphiques pour le suivi par scanner

Les mesures ne pourront en aucun cas être rendues sous forme de tableau bruts dans les rapports. Elles devront faire l'objet d'un traitement des données afin de les présenter sous forme de graphiques avec textures de couleur et échelle de déformations comme illustré en exemple ci-dessous.

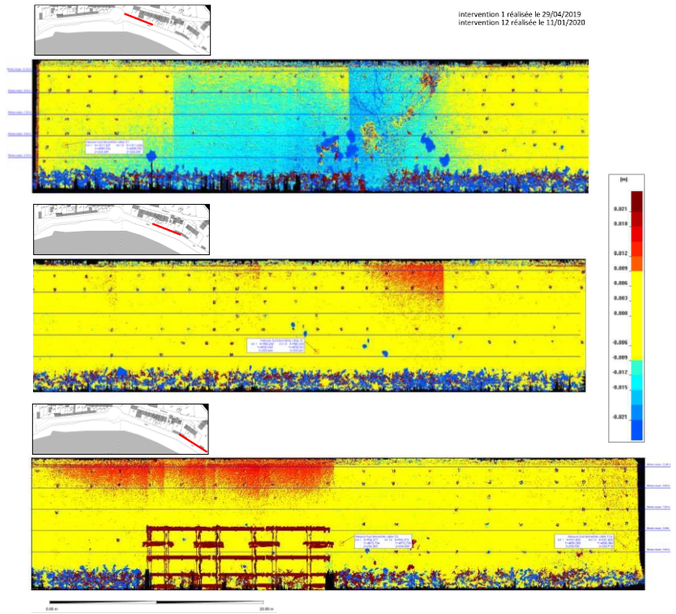


Figure 7 : Présentation des graphiques pour illustrer les résultats des scan 3D

Les résultats présentés sur les graphiques de cette page ont une valeur uniquement illustrative.

4. Synthèse

Pour chaque rapport périodique, une synthèse des résultats pour l'ensemble des instruments (de tous types) est attendue de manière à comprendre le comportement structurel global des ouvrages instrumentés. À cet effet, une mise en parallèle des différentes mesures devra être effectuée si elle est jugée pertinente.

L'analyse des résultats est à effectuer par l'entreprise en charge de l'instrumentation.

C. Rapport final

En fin de mission, un rapport final regroupant l'ensemble des mesures réalisées sera fourni sous format papier en 3 exemplaires et sous format informatique.

Ce rapport constitue une synthèse de l'ensemble du suivi, assortie de l'évaluation critique des mesures, afin de préciser la fiabilité de ces dernières.

Les mesures seront présentées sous forme de tableaux et de graphiques (voir précisions précédentes concernant leur présentation).

IV. CONCLUSION

Ce cahier des charges précise l'instrumentation à mettre en place sur les structures porteuses, courtines et tours au sud de la porte de Rodez, d'une partie des remparts du front nord de la cité de Carcassonne (11) qui est classée au titre des Monuments Historiques depuis 1862 et au patrimoine mondial par l'UNESCO.

L'instrumentation est à mettre en place dès que possible afin de surveiller l'éventuelle évolution des désordres.

Les données produites (rapports, franchissements de seuils, etc.) seront à transmettre à l'avancement de production des rapports à la maîtrise d'ouvrage et à l'équipe de maitrise d'œuvre en charge.

A Alfortville, le 28 août 2026.

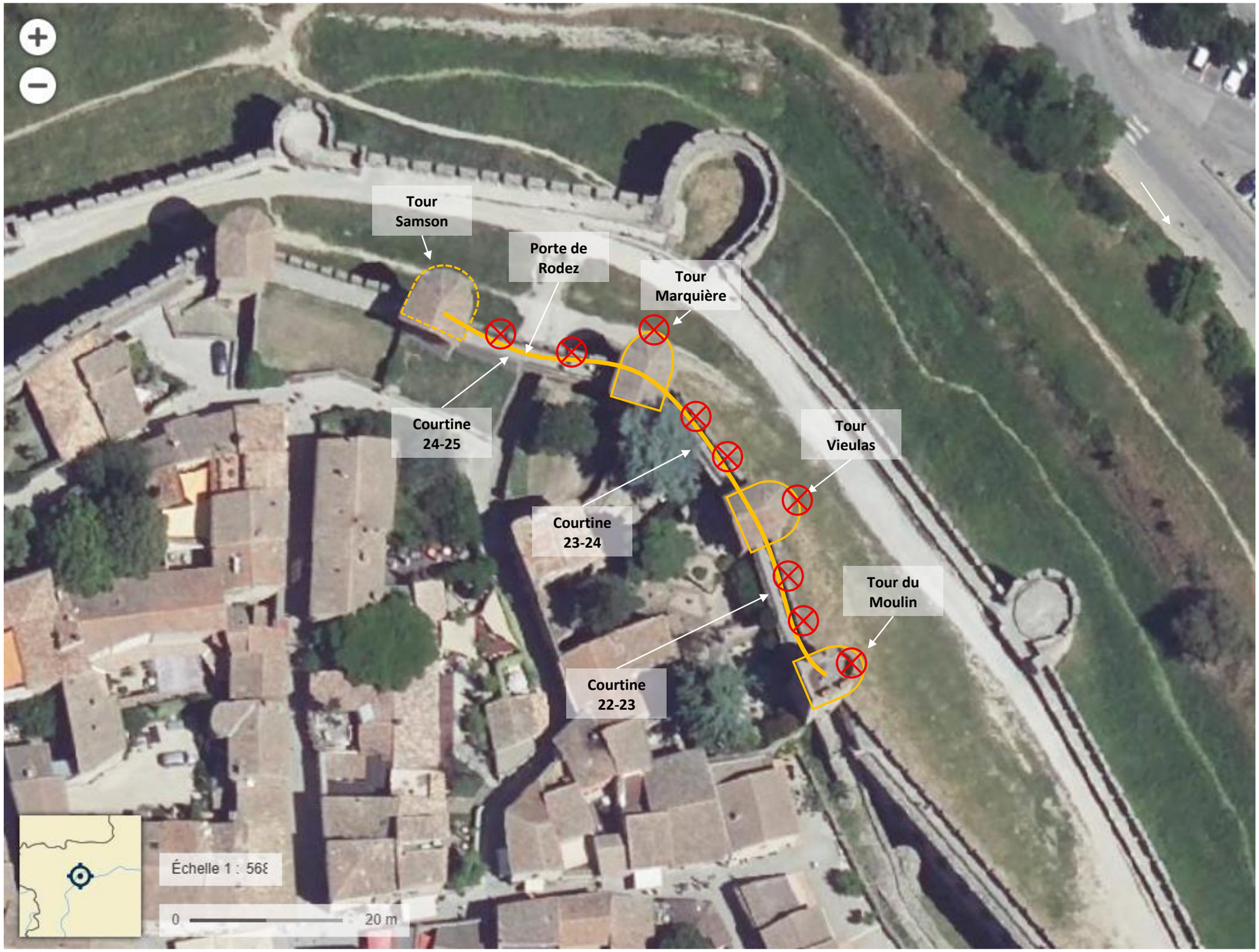
LISTE DES DOCUMENTS JOINTS AU RAPPORT

Ce cahier des charges contient l'annexe suivante :

- Annexe 1 : le plan de repérage pour la préconisation de la disposition des instruments électroniques.

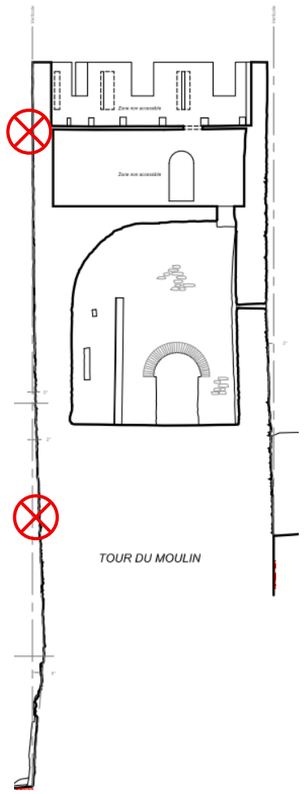
En l'absence de cette annexe, cette copie du document n'est pas complète.

ANNEXE 1 LOCALISATION DES INSTRUMENTATIONS A REALISER

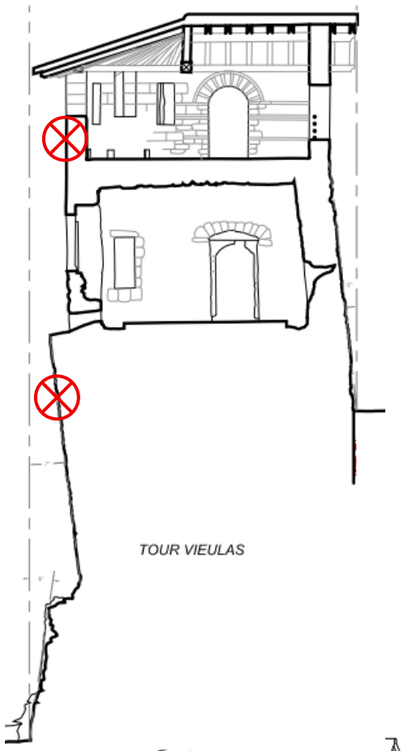


zone concernée par l'étude à surveiller par théodolite automatisé ou scanner 3D avec relevé mensuel

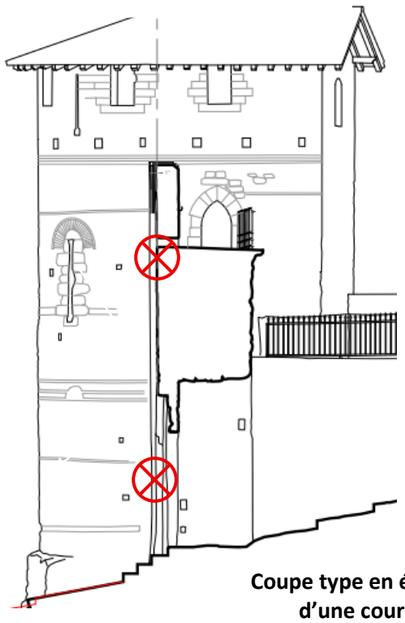
emplacement des cibles de mires



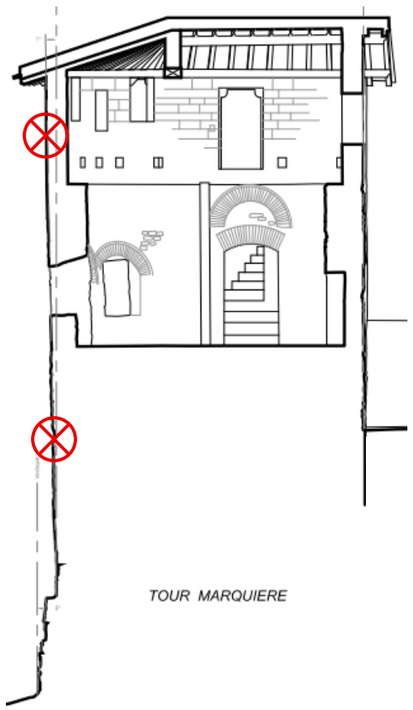
TOUR DU MOULIN



TOUR VIEULAS



Coupe type en élévation
d'une courtine



TOUR MARQUIERE

emplacement des
cibles de mires

Figure 8 : Repérage sur plan en coupe en élévation des surveillances électroniques à réaliser – source : fond de plan Architecte

V. PRECONISATIONS POUR LA MISE EN PLACE DE DISPOSITIFS DE SURVEILLANCE ELECTRONIQUE

A. Objectifs de l'étude

L'analyse des mesures fournies par l'instrumentation électronique à mettre en œuvre devra permettre de conclure sur les points suivants :

- évolutivité des désordres (activité des fissures et déformations),
- dans le cas où les fissures sont actives :
    - Direction et vitesse d'ouverture des fissures,
    - Corrélation potentielle avec les variations de températures (évolution saisonnière normale),
    - Dans le cas d'une évolution irréversible des désordres :
        - nécessité et degré d'urgence d'une intervention, y - compris mesures conservatoires d'urgence complémentaires pour mise en sécurité de l'édifice et de ses abords si nécessité (suivant définition de seuils de vigilance et d'alerte, cf. infra),
- hiérarchisation des priorités d'intervention.

B. Généralités

1. Connaissance des lieux et accès

L'entreprise doit prendre connaissance des lieux dans le cadre de la présente consultation. L'entreprise sera attentive aux accès disponibles pour l'amenée et la mise en place du matériel nécessaire à la pose des instruments de mesure. Ce matériel sera adapté par sa taille à l'accessibilité du lieu ; si une nacelle est nécessaire l'entreprise devra le mentionner de manière spécifique.

2. Sécurité

L'entreprise s'assurera de la sécurité du site, pour le public, les riverains et pour le personnel exécutant pour toute la durée de son intervention.

L'entreprise prévoira toutes sujétions d'accès pour assurer en toute sécurité la pose des instruments situés en hauteur.

3. Références normatives

L'ensemble des interventions sur le terrain devra être réalisé conformément aux normes en vigueur en France à la date de l'appel d'offre. Les références normatives liées aux essais seront précisées conjointement aux résultats.

4. Remise en état en fin de mission

En fin de mission**,** les appareils de mesure électronique devront être déposés par l'entreprise, compris toutes sujétions d'accès à sa charge et l'entreprise prévoira le rebouchage soigneux des trous de scellement réalisés pour la fixation des appareils et la remise en état des revêtements impactés conformément aux préconisations de l'architecte.

En particulier, le mortier utilisé devra être compatible avec l'existant.

C. Préconisations pour l'instrumentation électronique à mettre en place

1. Appareils de mesure à prévoir

L'instrumentation à mettre en place sur les murs de façade extérieurs sera composée des instruments suivants :

- **6 fissuromètres électroniques** : ils devront permettre de prendre des mesures dans la direction perpendiculaire aux fissures :
    - gamme de mesure : 50 mm (valeur indicative, laissée à l'appréciation de l'entreprise),
    - résolution et précision : 0,05mm (valeur indicative, laissée à l'appréciation de l'entreprise),
    - mesure de la température et de l'hygrométrie,
    - localisation : **F1 à F6** plan de repérage et photos pages suivantes.
    - *Les fissuromètres disposés en partie basse à une hauteur accessible à l'homme nécessiteront également la mise en œuvre d'un capotage adapté à assurer leur sécurisation physique ainsi que celle de leurs mesures.*
    - *Il s'agit donc, a minima, des instruments F2, F4 et F5.*

- **3 inclinomètres électroniques** : ils devront permettre une mesure de rotation sur les 3 axes :
    - gamme de mesure : 3 axes +/-90°, résolution et précision de 0,0025° (valeur indicative à l'appréciation de l'entreprise),
    - mesure du sens de l'angle d'inclinaison,
    - mesure de la température et de l'hygrométrie,
    - localisation : **I1 à I3** plan de repérage et photos pages suivantes.
    - ***La position des inclinomètres a été choisie afin de ne pas nécessiter d'accès en hauteur complexe type nacelle.***

- **1 centrale d'acquisition**, si les instruments déployés le nécessitent, globale liée par système sans fil (GSM ou autre). Cette centrale sera équipée et positionnée de manière à permettre l'acquisition des données provenant des différents déployés.

La localisation de la centrale sera à adapter en concertation avec la Maîtrise d'ouvrage et la Maîtrise d'œuvre de manière à permettre la collecte des données ci-dessus.

Un système d'alarme par GSM sera mis en place au niveau de la centrale d'acquisition. Il devra permettre de contrôler régulièrement, un moins une fois par semaine, le bon fonctionnement de l'instrumentation.

En cas de dysfonctionnement, une intervention sera à prévoir sur place par l'entreprise dans un délai maximal de 7 j.

Les mesures des déformations et des fissures seront couplées et comparées à un relevé de la température et d'hygrométrie dans le même environnement que celui du capteur pour vérifier si ces phénomènes ne sont pas liés entre eux.

2. Seuil d'alerte

Les désordres observés de manière visuelle du moins ne relèvent pas d'une situation d'urgence, il n'est donc pas nécessaire de définir un seuil d'alerte par rapport à la première mesure mais une vigilance sera nécessaire tout de même si les mesures révèlent des évolutions importantes.

Le seuil d'étalonnage devra être choisi judicieusement et son ajustement est possible après la première mesure, pour adaptation aux amplitudes des mouvements éventuellement détectées dans les superstructures maçonnées.
En revanche les modifications ultérieure devra être discutée avec la MOE et la MOA.

Les éventuelles dispositions auxiliaires nécessaires à la réalisation de ce suivi devront être précisées dans le mémoire technique rendu par l'entreprise.

3. Surveillance

L'instrumentation sera laissée en place sur **une période de minimum un an**. La mission d'instrumentation comprend les opérations de maintenance sur les instruments et la centrale de mesure sur cette période.

Les mesures de l'ensemble des capteurs doivent être transmises toutes les 6 heures au moins, soit quatre mesures par jour. Chaque prise de mesure sera couplée à une mesure de la température ambiante au fissuromètre. Les instruments sensibles et accessibles depuis le sol seront protégés (coffrage) afin d'éviter l'endommagement du matériel ou son dérèglement accidentel.

VI. ANALYSE DES RESULTATS ET RAPPORTS ATTENDUS

A. Rapport d'installation

Il sera produit un rapport d'installation comprenant pour chaque instrument électronique :

- numérotation **respectant dans la mesure du possible la nomenclature utilisée dans le présent cahier des charges,**
- type d'instrument et sa fiche technique,
- date de mise en place,
- localisation de l'instrument,
- fréquence de prise de mesure prévue pour cet instrument,
- observations éventuelles lors de la mise en place,
- photographie de l'instrument installé.

De plus, le rapport d'installation présentera un plan récapitulatif de localisation pour l'ensemble des instruments avec leur numérotation.

B. Rapports périodiques de suivi

1. Généralités

Les mesures issues de l'instrumentation électronique seront compilées et analysées dans des **rapports trimestriels** pendant toute la durée de la mission.

2. Résultats issus de l'instrumentation électronique

a. Généralités

L'instrumentation électronique fera l'objet d'un relevé régulier automatisé. Le rapport périodique de l'entreprise devra inclure une évaluation critique de l'évolution des mesures tous les trois mois. Le cas échéant, le rapport fera état des évènements significatifs qui auraient pu avoir une influence ou expliquer des « sauts » dans les mesures, par exemple :

- intervention de maintenance à proximité de la jauge,
- décollement, choc accidentel de la jauge,
- forte crue, tempête et orages,
- …

Les sauts de mesures qui ne pourraient pas être reliés directement à une des causes explicables seront identifiés, et la vitesse d'évolution quantifiée (par exemple : saut de 3 mm apparu sur 2 jours).

Les mesures seront présentées sous forme de graphique (voir précisions sur la présentation ci-dessous).

b. Modalités de présentation des graphiques pour le suivi électronique

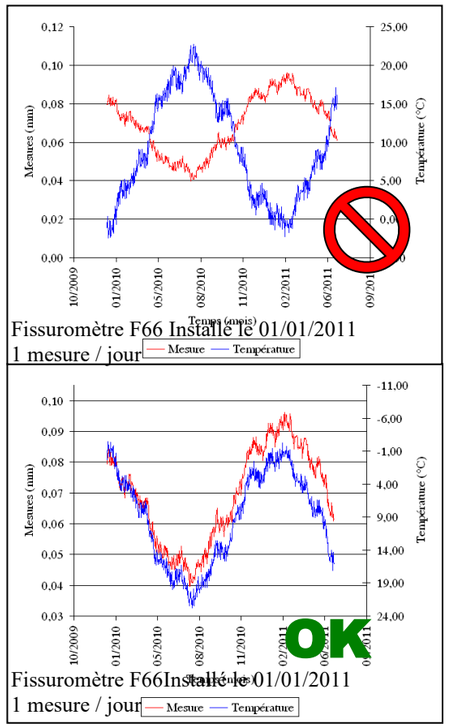
Les mesures ne pourront en aucun cas être rendues sous forme de tableau bruts dans les rapports.

Elles devront faire l'objet d'un traitement des données afin de les présenter sous forme de graphiques avec courbes. Chaque graphique devra respecter les conditions suivantes :

- **En abscisse** sera représenté le temps. Sur cette échelle seront indiqués les évènements significatifs ayant pu avoir une influence sur les mesures (voir ci-dessus)

- **En ordonnée**, seront représentées à la fois la mesure de l'appareil (mesure de distance en mm) et la température extérieure relevée par la centrale de mesure. Ces deux informations figureront sur le même graphique, à l'aide d'une double échelle. L'échelle de la température sera inversée si nécessaire, pour que l'évolution des mesures de l'appareil suive la température, et que les éventuelles dérives des mesures soient observables et quantifiables (voir la figure 5 pour exemple).

- **En titre**, indication numéro du capteur, type de capteur, position dans l'édifice, date d'installation et fréquence des mesures représentées.



Ce graphique n'est pas exploitable : il faut inverser l'échelle de la température et modifier l'échelle des mesures

Après modification, le graphique fait apparaître les corrélations journalières entre la température et les mesures, ainsi que la dérive régulière des mesures sur un an.

Figure 9 – Présentation des graphiques pour illustrer les résultats des mesures

Note : les deux graphiques de cette page utilisent exactement les mêmes résultats de mesures. Cependant le second graphique apporte bien plus d'informations sur les résultats des mesures que le premier graphique, d'où l'importance d'un choix d'échelle cohérent avec les résultats attendus (corrélation entre les mesures et la température, et éventuels écarts et dérives).

Les résultats présentés sur les graphiques de cette page ont une valeur purement illustrative et ne correspondent pas à des mesures réalisées sur ce projet.

3. Synthèse

Pour chaque rapport périodique, une synthèse des résultats pour l'ensemble des instruments (de tous types) est attendue de manière à comprendre le comportement structurel global des ouvrages instrumentés. À cet effet, une mise en parallèle des différentes mesures devra être effectuée, si elle est jugée pertinente, notamment pour les inclinomètres.

L'analyse des résultats est à effectuer par l'entreprise en charge de l'instrumentation.

C. Rapport final

En fin de mission, un rapport final regroupant l'ensemble des mesures réalisées sera fourni sous format papier en 3 exemplaires et sous format informatique.

Ce rapport constitue une synthèse de l'ensemble du suivi, assortie de l'évaluation critique des mesures, afin de préciser la fiabilité de ces dernières.

Les mesures seront présentées sous forme de tableaux et de graphique (voir précisions précédents concernant leur présentation).

VII. CONCLUSION

Ce cahier des charges précise l'instrumentation à mettre en place sur les murs de remparts et des tours de fortifications des remparts du front nord de la Cité de Carcassonne (11).

L'instrumentation est à mettre en place dès que possible afin de surveiller l'éventuelle évolution des désordres.

Les données produites (rapports, franchissements de seuils, etc.) seront à transmettre à l'avancement de production des rapports à l'équipe de maitrise d'œuvre en charge uniquement.

A Alfortville, le 28 août 2026

LISTE DES DOCUMENTS JOINTS AU RAPPORT

Ce cahier des charges contient l'annexe suivante :

- Annexe 2 : le plan de repérage pour la préconisation de la disposition des instruments électroniques.

En l'absence de cette annexe, cette copie du document n'est pas complète.

ANNEXE 2 LOCALISATION DES INSTRUMENTATIONS A REALISER

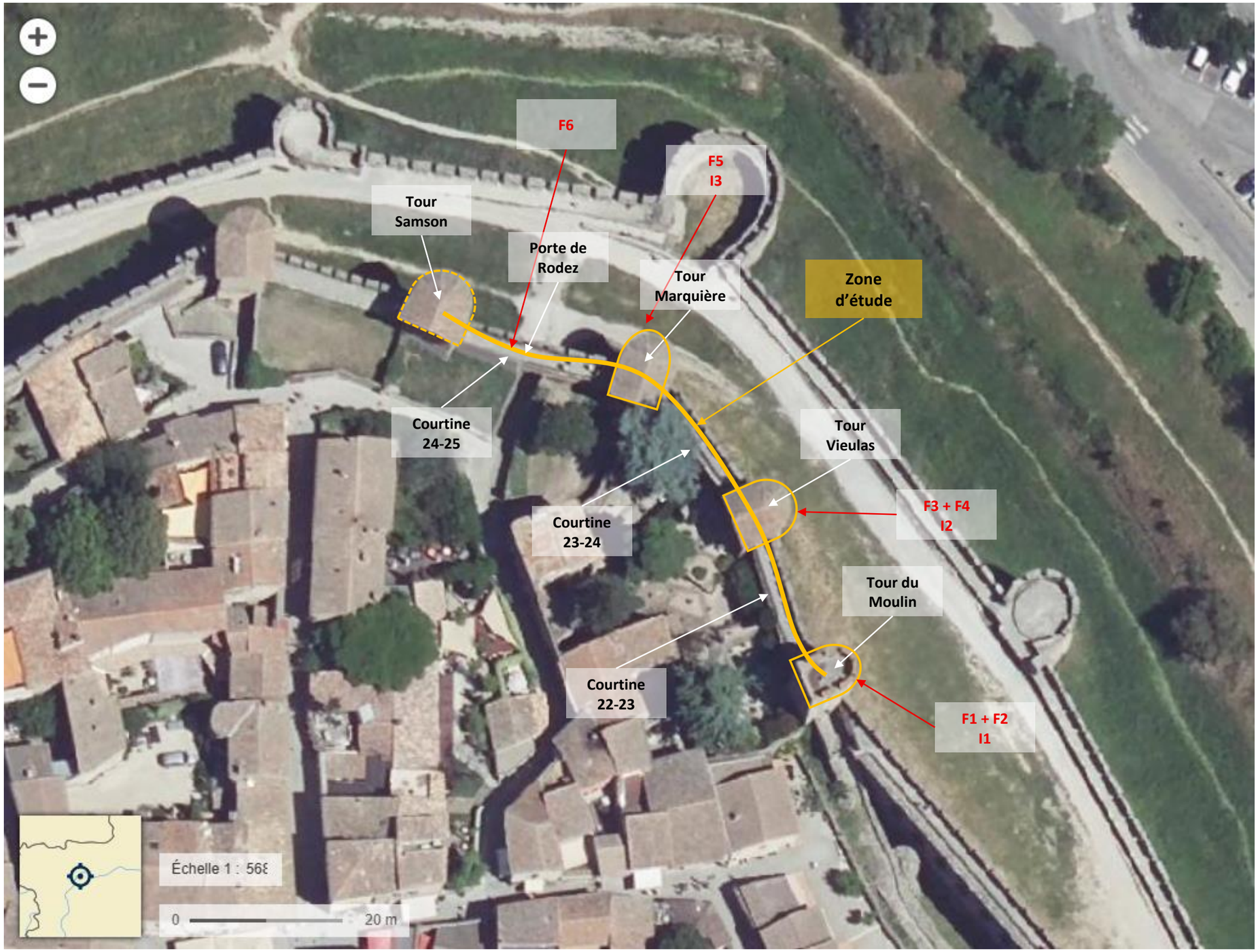


Figure 10 – Localisation des investigations à réaliser – fond de plan : geoportail.gouv.fr

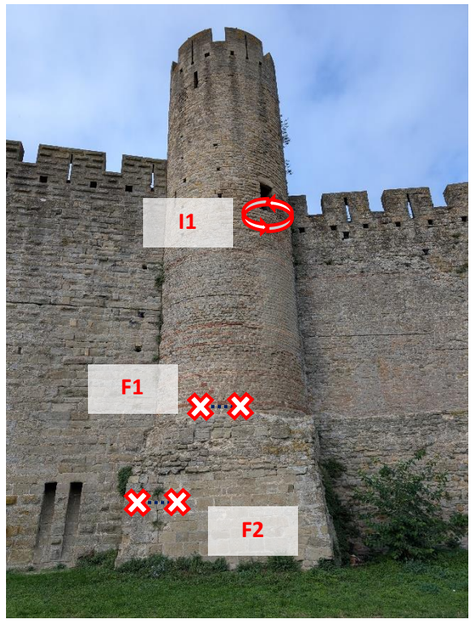


Photo 1 : vue de la tour du Moulin du Connétable

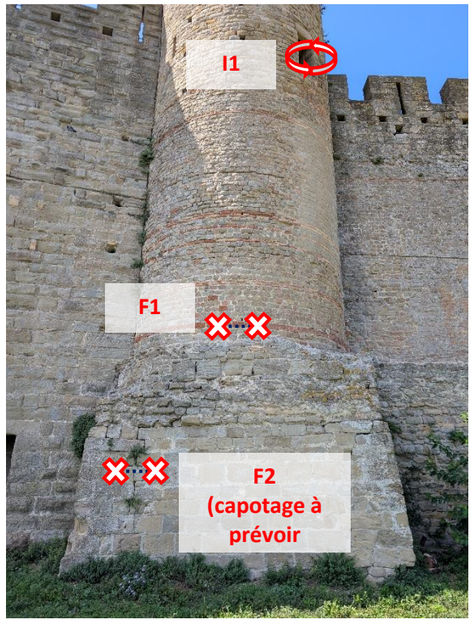


Photo 2 : instruments à mettre en place sur la tour du Moulin

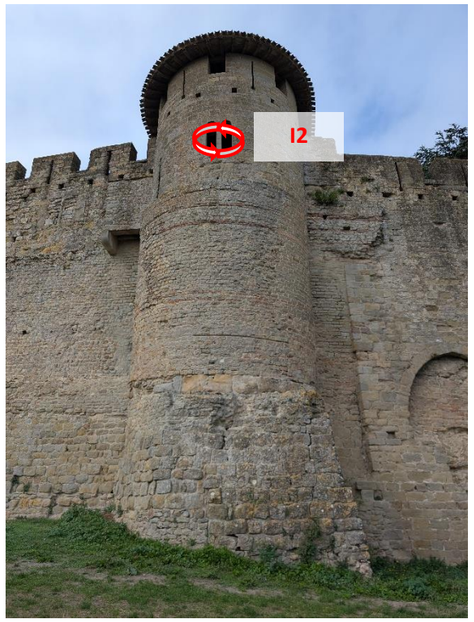


Photo 3 : vue de la tour Vieulas ; inclinomètres à mettre en place

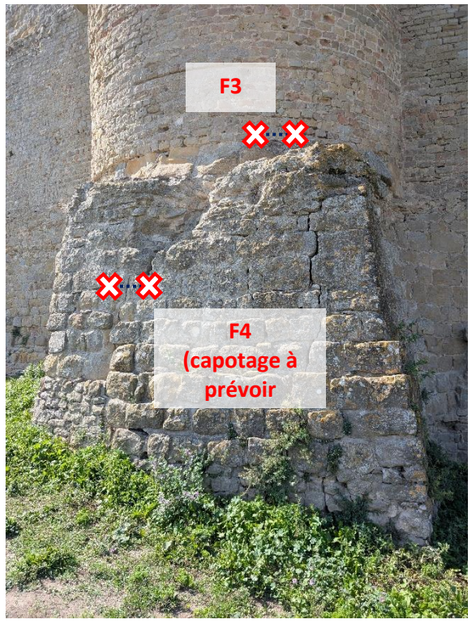


Photo 4 : instruments à mettre en place sur la tour Vieulas

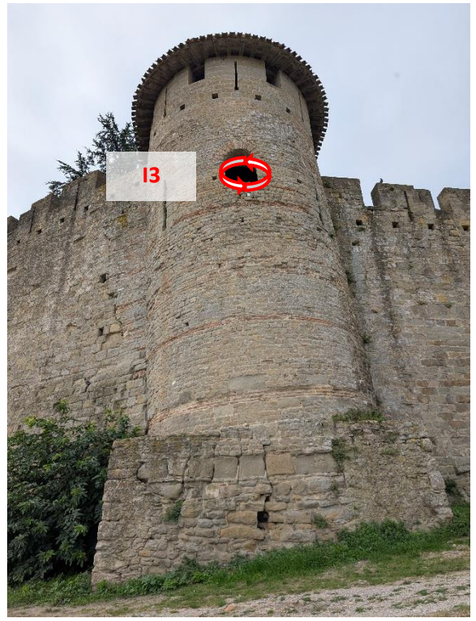


Photo 5 : vue de la tour Marquière ; inclinomètres à mettre en place

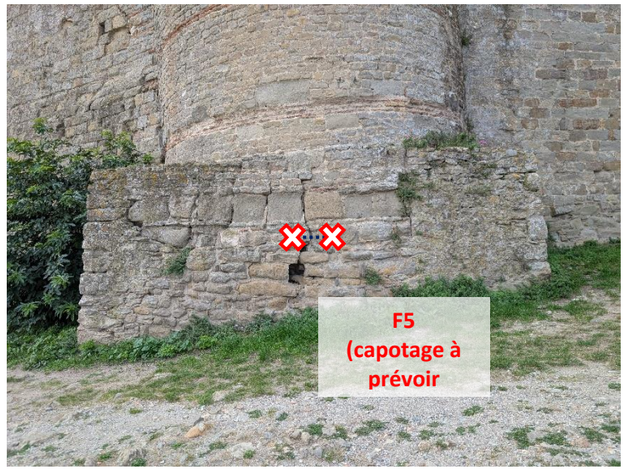


Photo 6 : instruments à mettre en place sur la tour Marquière

30, rue Charles de Gaulle 94140 Alfortville - Tél. : 01 42 77 17 18
Établissement Marseille : 63-75 av Roger Salengro 13003 Marseille
SAS au capital de 10.000 euros – n° siren 494 137 961 - e-mail : contact@bmi-patrimoine.fr



Photo 7 : vue de la courtine 24-25 avec la porte de Rodez ; fissuromètre à mettre en place

30, rue Charles de Gaulle 94140 Alfortville - Tél. : 01 42 77 17 18
Établissement Marseille : 63-75 av Roger Salengro 13003 Marseille
SAS au capital de 10.000 euros – n° siren 494 137 961 - e-mail : contact@bmi-patrimoine.fr