



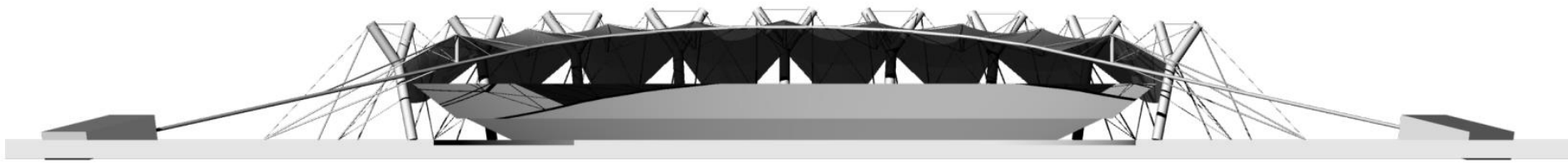
École des Ponts

ParisTech

# Conception des structures

Partie appliquée

C. Douthe



# Programme de la séance

---

- *Conférence introductive par Luc Weizmann, architecte*  
Architectes et ingénieurs  
Culture et Technique : quelles limites?
- *Présentation du module:*  
*Approche pédagogique et organisation des séances*
- *Présentation des sujets de projet*
- *Exemple de projet.*

# Objectifs pédagogiques

---

- Comprendre la structure
- Comprendre les enjeux de la conception des structures
- Savoir mener de façon autonome une démarche de conception dans un contexte simple
- Savoir anticiper les problèmes fondamentaux posés par la validation d'un système structurel
- Savoir modéliser simplement les systèmes pour les calculer à la main.
- Développer la curiosité, l'esprit d'innovation
- Être initié à la démarche de projet

# De l'importance de l'exploration

---

« ce n'est pas en améliorant la bougie qu'on a inventé l'ampoule »

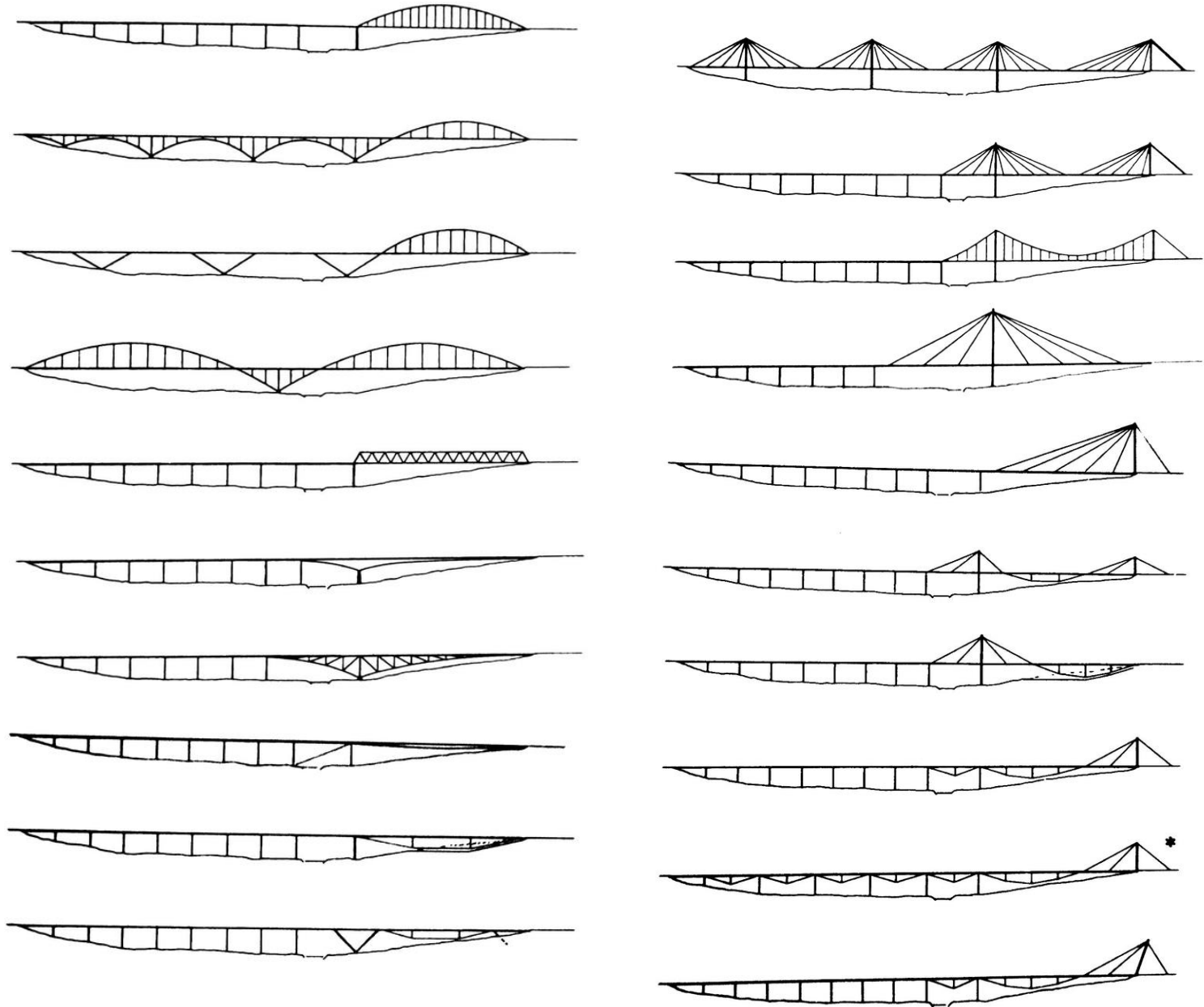
- Explorer pour révéler le potentiel d'un site.
- Explorer pour apprendre et comprendre les caractéristiques des différentes typologies.
- Explorer pour interroger le lien entre forme, structure et force.
- Explorer pour clarifier une intention et construire une réponse pertinente.

# Du rôle de la modélisation

---

- L'ingénieur doit qualifier :  
*Pas d'image sans description littérale de l'image*
- L'ingénieur doit quantifier :  
*Pas de structure sans modèle ni évaluation des performances.*
- Le concepteur doit avoir une vision globale  
*du comportement structurel et des étapes du dimensionnement*
- Le concepteur doit pouvoir faire des choix :  
*Les modèles sont tout autant conséquence que cause du projet.*
- Le concepteur doit avoir des outils pour justifier ses choix  
*Un modèle est toujours construit dans un but particulier.*

20 esquisses pour un franchissement à Obere Argen, SBP-Kemmerer, 1990



# Programme des séances EXPST (1/4)

---

## Première partie : exploration

- Séance 1 : Etude des structures tendues.
- Séance 2 : Etude des structures comprimées.
- Séance 3 : Etude des structures fléchies.
- Séance 4 : Variations géométriques sur une même typologie structurelle.

## Corrections collectives

présentations courtes (5min) et échanges avec la salle (10min)

# Programme des séances EXPST (2/4)

---

## Deuxième partie : modélisation et conception

- Séance 5 : Modélisation de la solution retenue
- Séance 6 : Calcul des efforts  
et dimensionnement en contrainte.
- Séance 7 : Calcul des déplacements  
et dimensionnement en raideur.
- Séance 8 : Rendu intermédiaire (5+10) & synthèse collective.

Corrections individuelles (sauf pour la dernière séance)  
échanges en tête à tête avec l'enseignant référent



# Programme des séances EXPST (3/4)

---

## Troisième partie : modélisation et vérification

- Séance 9 : Définition de la note d'hypothèses pour la vérification de la proposition d'un autre groupe.
- Séance 10 : Rendu de la contre-étude.

Correction individuelle séance 9 (30 min. par groupe)

Correction collective séance 10 (5+10 min. par groupe)  
Point sur similarités et différences des résultats des calculs

# Programme des séances EXPST (4/4)

---

## Quatrième partie : Optimisation

- Séance 11 : Dernière correction individuelle.
- Séance 12 : Jury final.

Présentations regroupées par projet devant un jury composé:  
des enseignants du module et,  
de professionnels reconnus issus de bureaux d'études  
(SBP, T/E/S/S, RFR, Leicht, Ellioth, B&G, Arcora, etc.)

# Modalité d'évaluation

---

**Un contrôle continu** en quatre étapes (chacune 15% de la note) :

- **Esquisse**: capacité à explorer différentes typologies et à évaluer le cheminement des charges et les ordres de grandeur.
- **Avant-projet** : capacité à décrire une structure, à analyser son fonctionnement structurel, à modéliser pour dimensionner.
- **VISA** : capacité à analyser une structure existante, à la modéliser rapidement pour en vérifier les ordres de grandeurs.
- **Final** : capacité à faire une synthèse en chiffres du projet et des modèles utilisés pour l'analyse de son comportement.

**Un présentation orale devant un jury** (40% de la note):  
évaluation de la qualité de la proposition et de la finesse de compréhension du comportement.

# Journée pédagogique du 26 février 2019

---

## Etudiants issus du MS GCE (et autres débutants Rhino)

- Initiation à Rhino/Grasshopper (8h30-12h puis 13h30-17h00),  
*par Patric Barbier, Ing. Arch., associé chez KAIRN-IA.*

## Etudiants initiés au design paramétrique

- Présentation du Makerspace de l'ENPC (deux créneaux de 3h):  
quelles machines à disposition? (découpe laser, imprimante 3D)  
quelles modalités d'utilisation pour la réalisation de maquettes?  
*par Adrien Rigobello, resp. du makerspace de l'ENPC*

# Equipe enseignante

---

## Groupe 1 à 10 :

- Cyril Douthe, Dr.Ing., chercheur au *laboratoire Navier* ;
- Pietro Demontis, Ing., chef de projet *RFR Structure et enveloppes*;

## Groupe 11 à 18 :

- Simon Aubry, Ing., chef de projet *T/E/S/S Atelier d'ingénierie* ;
- Romain Mesnil, Dr. Ing., chef de projet *Build'in à l'ENPC* ;

## Tutorat Karamba

- Nicolas Montagne, Ing. Doctorant au *laboratoire Navier* ;

# Tutorat Karamba3d et auto-apprentissage

---

## Pourquoi Karamba3d?

- Logiciel paramétrique intégré à Rhino/Grasshopper:  
idéal pour étudier l'interaction forme-force

## Pourquoi auto-apprentissage?

- Chacun avance à son rythme

## Quelle assistance?

- Une documentation en ligne abondante chez le développeur
- Des fichiers d'exemples associés au cours théorique
- Un tutorat numérique en parallèle des 6 dernières séances

# Une maquette structurelle pas architecturale

---

## Objectifs:

- illustrer un point particulier du comportement de la structure (comportement hors-plan, charges assymétriques, instabilité...)
- réaliser une structure que l'on a pensé.

## Outils à disposition:

- Modélisation
- Découpe laser (une planche de MDF par groupe fournie)
- Impression 3D (pour connexion)

# Présentation des sujets

---

- Éléments communs à l'ensemble des projets
- sujet A : Promenade dans les arbres
- sujet B : Serre tropicale
- sujet C : Couverture de château Gaillard
- sujet D : Couverture d'une gare sur un nœud ferroviaire



# Éléments communs

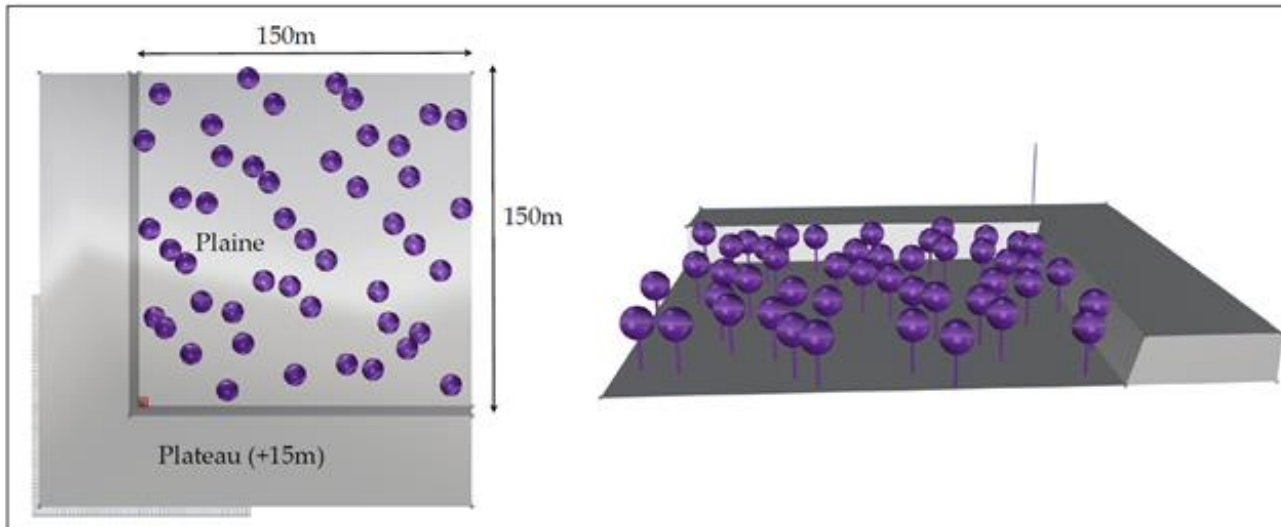
---

- Chargements : \* Vent ( $\pm 1 \text{ kN/m}^2$ ) et neige ( $0,5 \text{ kN/m}^2$ )  
\* Thermique ( $\pm 30^\circ \text{C}$ )
- Fondations : \* 1 MPa verticalement  
\* 0,5 MPa horizontalement
- Critères de déformation \*  $L/200$  pour les poutres ( $L/300$  si verre)  
\*  $h/125$  pour les poteaux
- Matériaux: \* bois, métal, béton (structure principale)  
\* idem + verre et textile (structures secondaires).

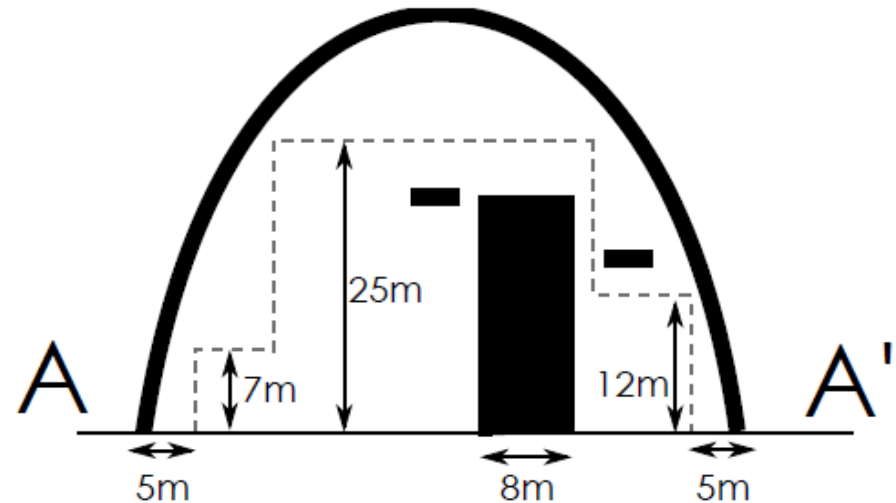
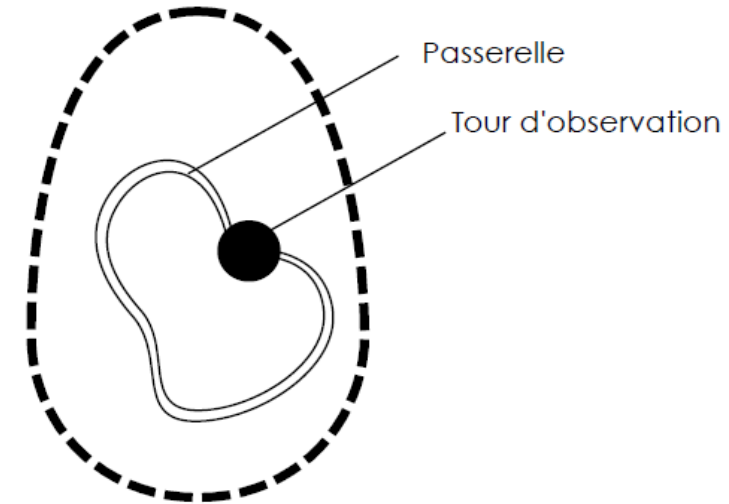
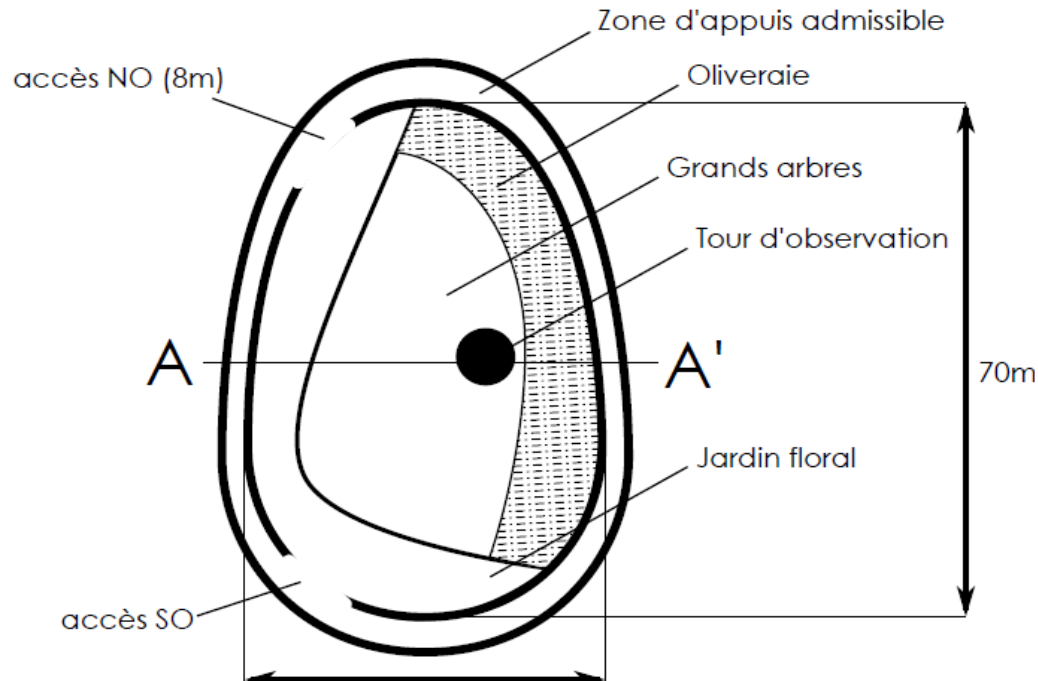
# Sujet A: Promenade dans les arbres

---

- 15m de dénivelé, 300m de long, 3m de large.
- Ancrage à plus de 5m des arbres et dans le plateau.



# Sujet B : Serre tropicale



# Sujet C : Couverture du chateau Gaillard

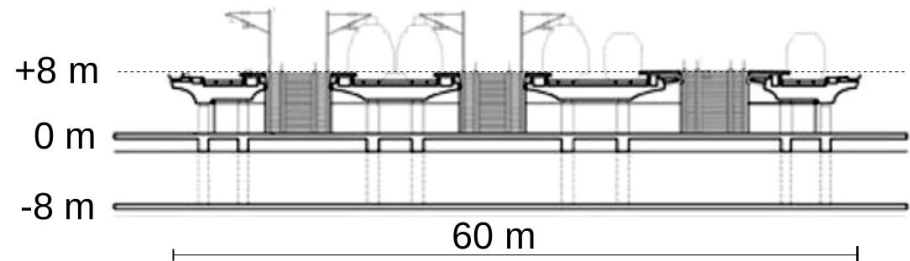
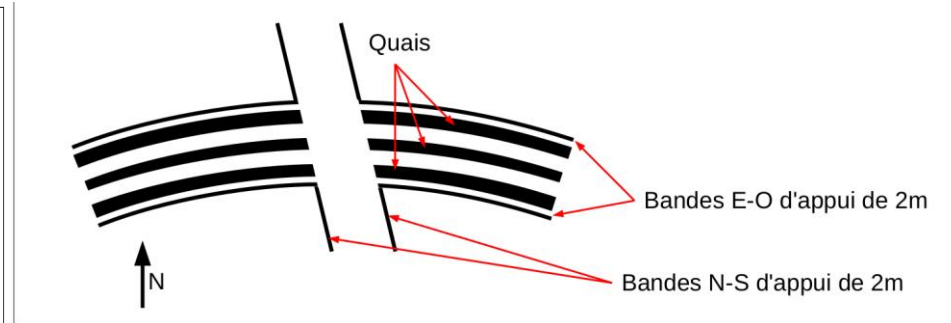
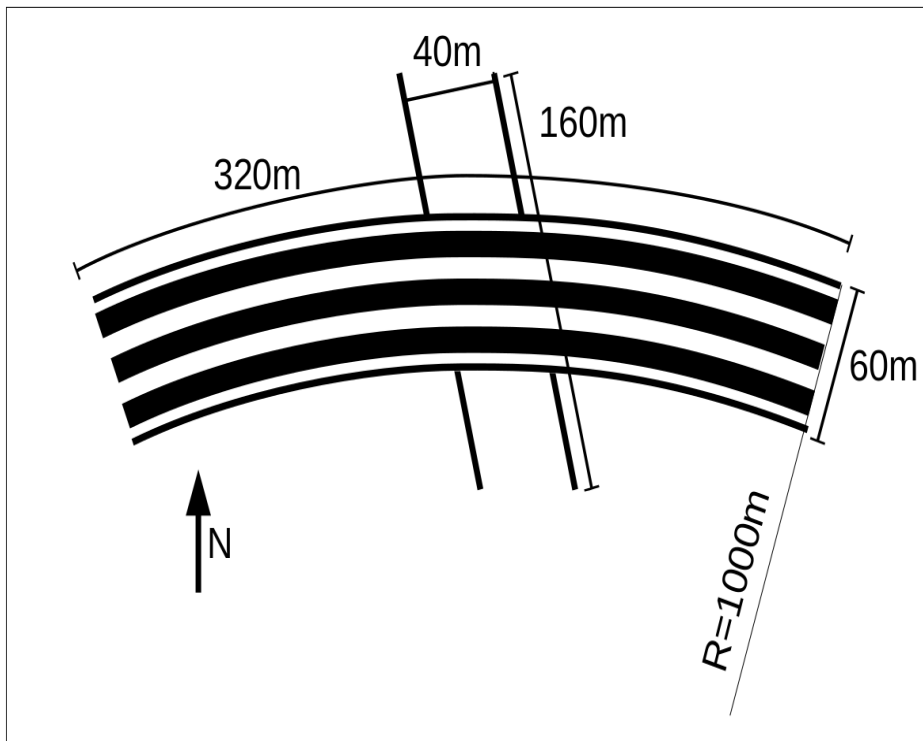
---

- Appui sur le mur d'enceinte et le donjon : vertical et tangentiel mais pas perpendiculaire, pas de traction, pas de couple.
- Sauf dans la partie nord où la vue reste dégagée.



# Sujet D: Couverture d'un noeud ferroviaire

- Couverture de l'ensemble des deux faisceaux de voies
- Appuis sur les quais uniquement
- Façades sur le long des voies nord-sud



# Aspects pratiques urgents

---

- Classement des préférences pour les projets en ligne
- Identifiant machine Karamba
- Echange adresse mail
- Accès educnet

# Hangars d'aviation métalliques de 70m de portée

---





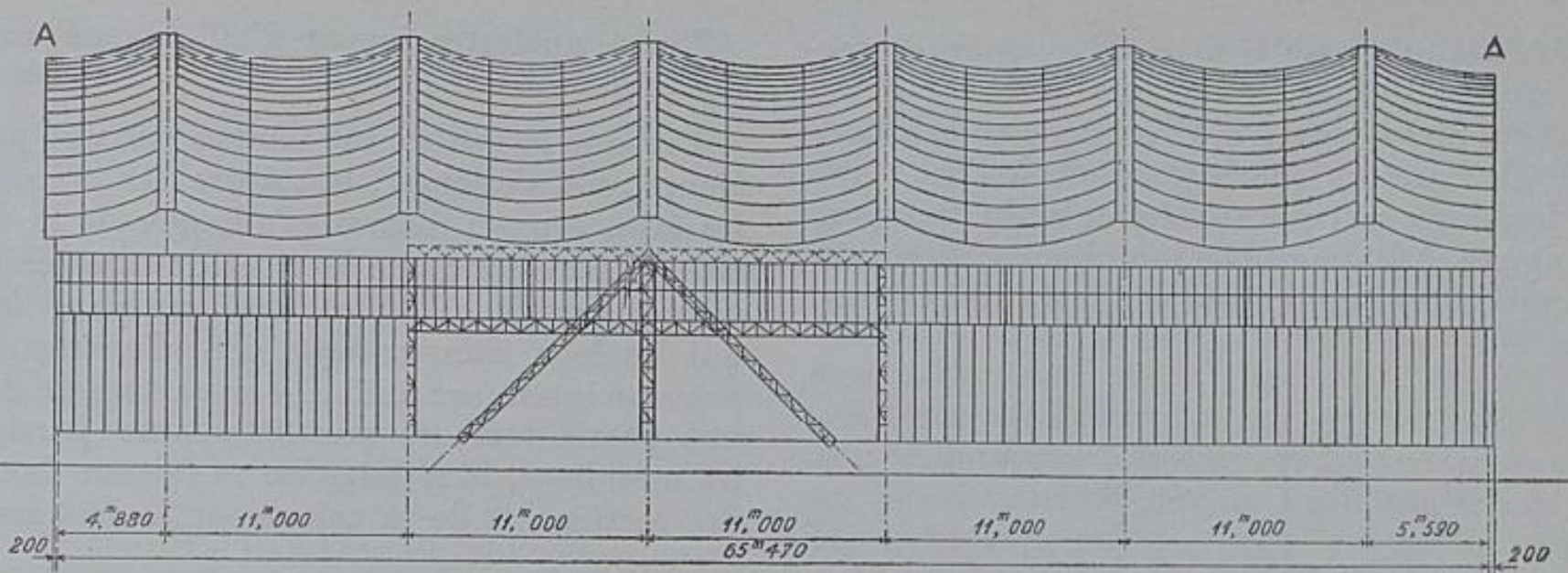


FIG. 1. — Long pan coté sans contrefiches, vu de l'intérieur.

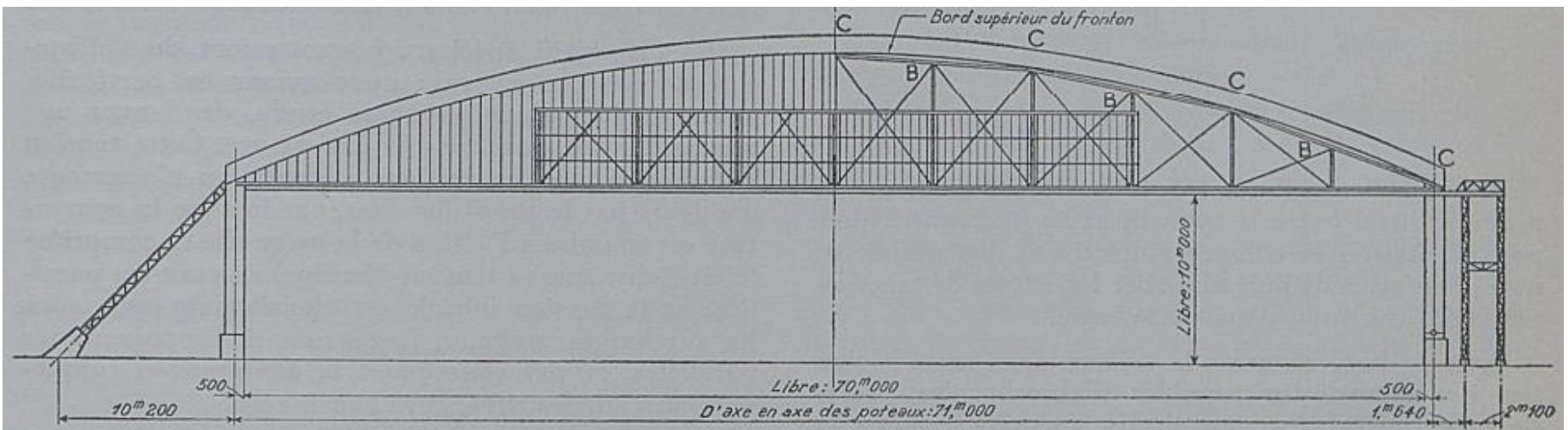
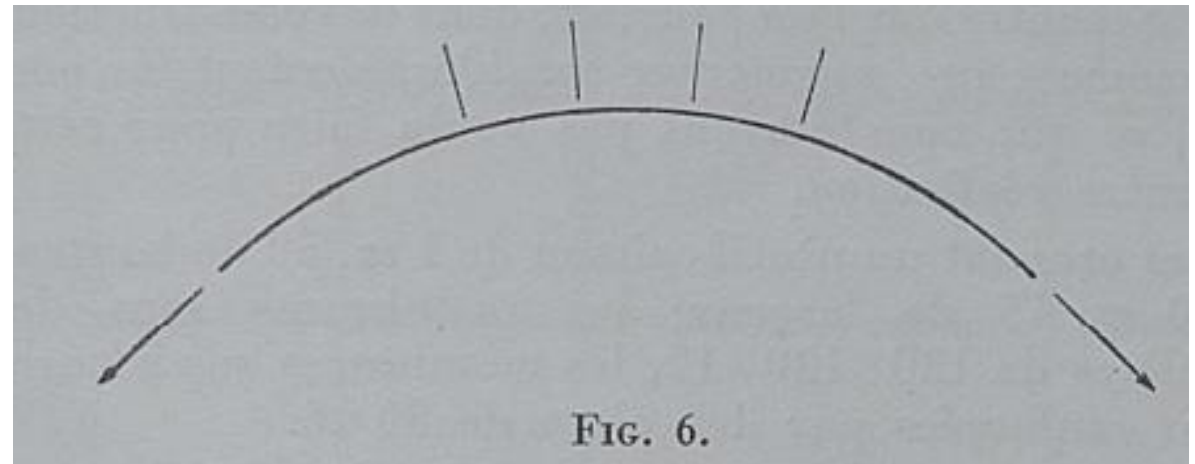
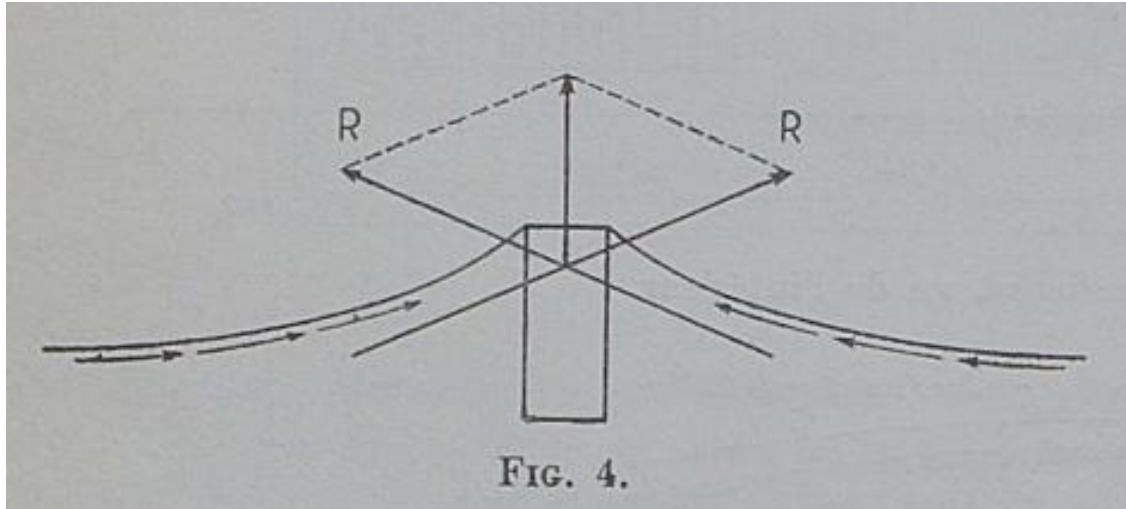


FIG. 2. — Pignon ouvert



# Equilibre horizontal de la couverture

---



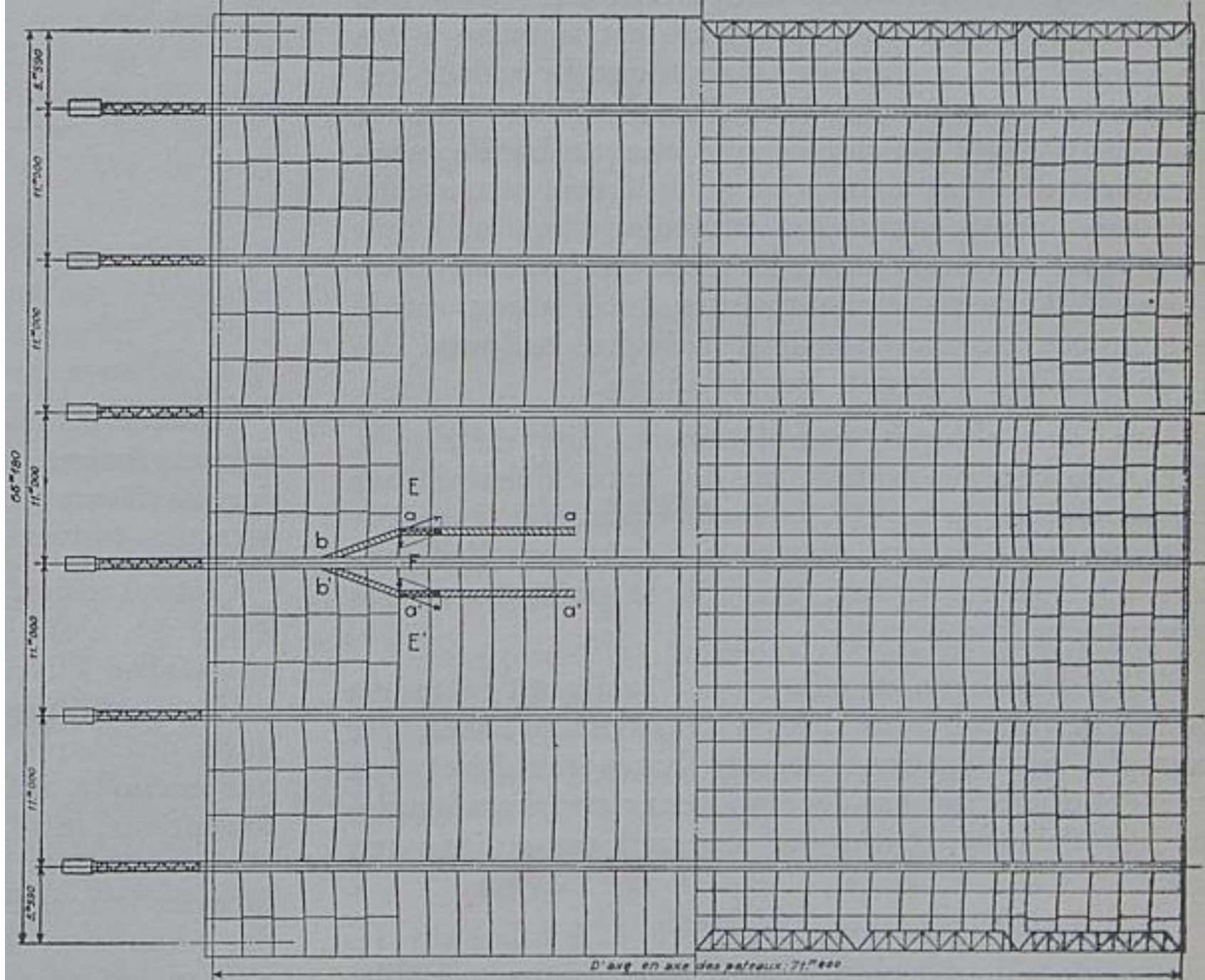


FIG. 3. — Vues en plan de la toiture et des pannelettes.

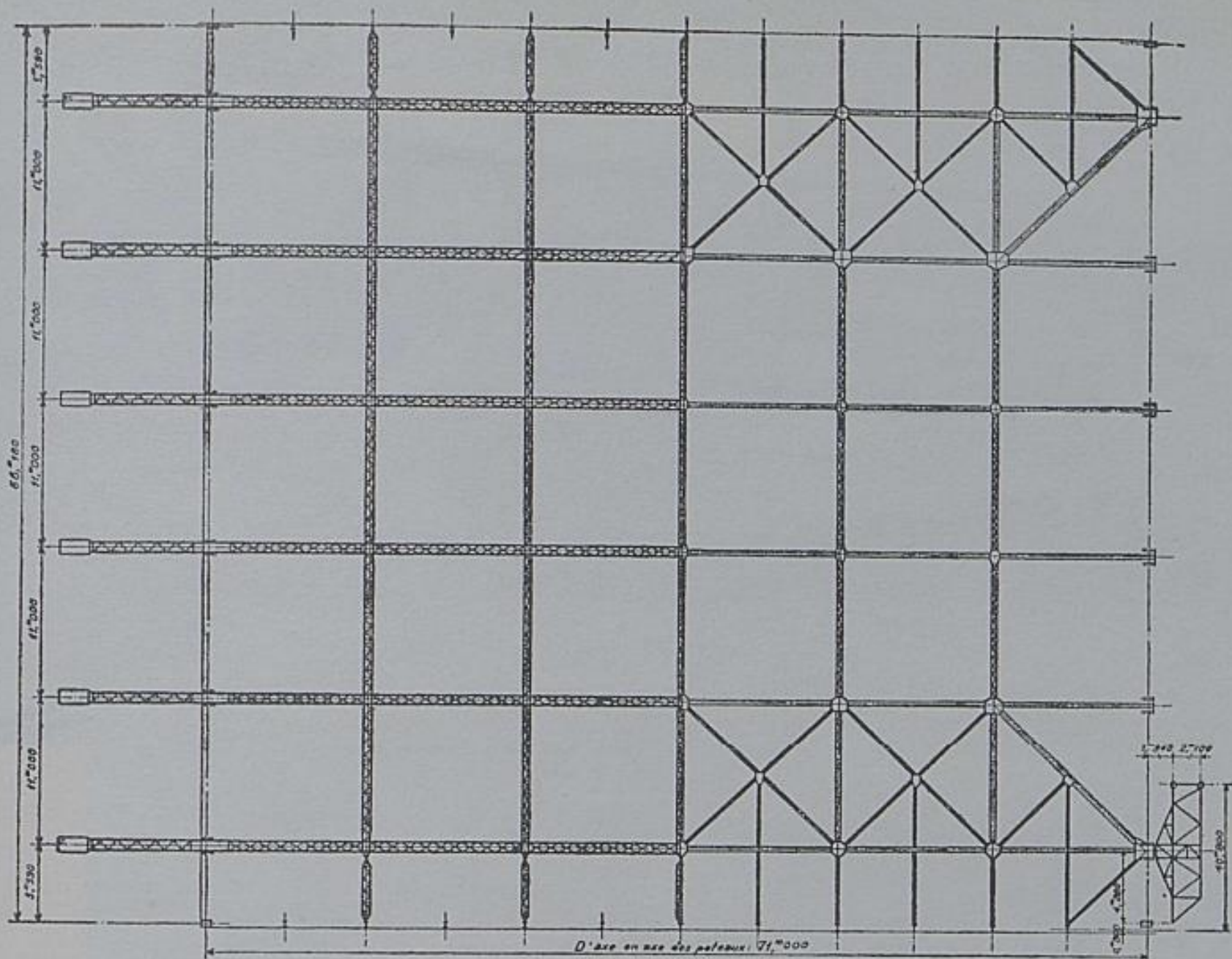


FIG. 7. — Vues en plan des butons et de la poutre au vent.





