

# Surveillance Énergétique et Empreinte Carbone du Campus IIT Delhi

Tableau de Bord en Temps Réel

August 12, 2025

## 1 Introduction

L'IIT Delhi est un campus universitaire de pointe situé au cœur de New Delhi, intégrant de nombreux bâtiments académiques, résidentiels et de recherche. Grâce à ce tableau de bord, nous surveillons en temps réel la consommation énergétique et l'empreinte carbone de ses principales infrastructures. Le jeu de données couvre la consommation énergétique horaire et les indicateurs de présence dans les bâtiments principaux du campus. Les bâtiments sont alimentés par trois transformateurs électriques, chacun desservant un sous-ensemble d'infrastructures.

## 2 Description des Variables

- Taille de data set
- Période : 2017-01-01 → 2017-11-03
- Lignes : 7,357

### 2.1 Variables Temporelles

- `timestamp` : Date et heure de la mesure (format YYYY-MM-DD HH:MM:SS), granularité horaire.
- `hour`, `dayofweek`, `month` : Variables dérivées pour l'analyse des patterns journaliers, hebdomadaires et saisonniers.
- `working_day` : Indicateur binaire (1 = jour ouvré, 0 = week-end ou jour férié).
- `activity` : Code du niveau d'activité dans le bâtiment (ex. L = faible, M = moyen, H = élevé).

### 2.2 Variables de Présence

Ces variables représentent le nombre de personnes présentes dans chaque bâtiment ou zone au moment de la mesure :

- ACB — Academic Building
- BH — Boys Hostel
- DB — Dining Building
- GH — Girls Hostel
- LB — Lecture Building
- LCB — Library & Central Building
- SRB — Facilities Building

### 2.3 Variables de Consommation par Transformateur

- `transformer_1_kwh` : Énergie consommée par le Transformateur 1.
- `transformer_2_kwh` : Énergie consommée par le Transformateur 2.
- `transformer_3_kwh` : Énergie consommée par le Transformateur 3.

### 2.4 Variables de Consommation par Bâtiment/Secteur

- `BH_pow_kwh`, `BH_bac_pow_kwh` : Puissance horaire (kWh) du Boys Hostel et de son alimentation de secours.
- `SRB_pow_kwh` : Puissance horaire du Facilities Building.
- `GH_pow_kwh`, `GH_bac_pow_kwh` : Puissance horaire du Girls Hostel et de son alimentation de secours.
- `LCB_pow_kwh` : Puissance horaire de la Library Building.
- `LB_pow_kwh` : Puissance horaire du Lecture Building.
- `DB_pow_kwh` : Puissance horaire du Dining Building.

### 2.5 Variables Globales

- `electricity_kwh` : Consommation électrique totale horaire (tous transformateurs confondus).
- `CO2_total` : Émissions totales de CO associées (gCO).
- `temperature`, `humidity` : Conditions météorologiques extérieures mesurées à proximité (°C, %).

## 3 Lien Transformateurs $\leftrightarrow$ Bâtiments

Le tableau ci-dessous détaille la répartition des bâtiments alimentés par chaque transformateur, d'après le schéma fourni.

Table 1: Correspondance entre les transformateurs et les bâtiments desservis

Transformateur	Bâtiments / Secteurs Desservis
Transformateur 1	Dining
Transformateur 2	Academic, Library, Facilities, Lecture, OLD Boys_main, OLD Girls_main
Transformateur 3	Boys_main, Girls_main

## 4 Consommation Quotidienne Totale (kWh/jour)

Analyse de la consommation quotidienne totale en kWh/jour sur la période de janvier à novembre 2017.

### 4.1 Variabilité saisonnière marquée

- **Hiver (janv-fév)** : Niveaux modérés autour de 6 000–8 000 kWh/jour.
- **Printemps (mars-avril)** : Baisse temporaire vers 3 000–5 000 kWh/jour.
- **Été (juin-août)** : Nette augmentation, avec des pics supérieurs à 14 000 kWh/jour.
- **Automne (sept-oct)** : Consommation encore élevée mais plus instable, puis baisse progressive.

## 4.2 Pics notables

- **Mi-juillet** : Point le plus haut (environ 14 800 kWh/jour) → probablement lié à une forte demande climatique (climatisation).
- Plusieurs épisodes de surconsommation en août et septembre.

## 4.3 Périodes basses

- **Mars et fin octobre-début novembre** : Chutes nettes, peut-être liées à des vacances ou une baisse d'activité.

## 4.4 Interprétations possibles

- **Influence climatique** : La hausse estivale correspond sans doute à un usage accru de la climatisation.
- **Calendrier académique** : Les creux pourraient correspondre à des périodes de vacances universitaires ou à une activité réduite.
- **Anomalies à investiguer** : Certains pics abrupts mériteraient d'être croisés avec les données météo et d'occupation pour vérifier s'ils sont normaux.

# 5 Répartition de l'Énergie par Transformateur

Analyse de la répartition de l'énergie consommée (kWh total) entre les trois transformateurs sur la période analysée.

## 5.1 Observations principales

- **Transformateur 2** est de loin le plus sollicité, avec plus d'1,08 million de kWh consommés, soit probablement la charge principale du campus.
- Cela correspond au fait qu'il alimente plusieurs bâtiments gourmands : Academic, Library, Facilities, Lecture, OLD Boys\_main, OLD Girls\_main.
- **Transformateur 3** arrive en deuxième position avec environ 640 000 kWh, alimentant Boys\_main et Girls\_main.
- **Transformateur 1** affiche la plus faible consommation (environ 490 000 kWh), ce qui est cohérent s'il n'alimente que le bâtiment Dining.

## 5.2 Interprétations possibles

- **Répartition inégale de la charge** : Le T2 supporte une part disproportionnée de la demande énergétique → risque de surcharge ou de pertes accrues.
- **Optimisation possible** : Une redistribution des charges vers T1 et T3 pourrait améliorer l'efficacité et prolonger la durée de vie des équipements.
- **Lien avec les pics de consommation** : Les jours de forte demande (été), T2 doit absorber la majorité de la charge → à surveiller pour éviter les dépassements de capacité.

# 6 Consommation Mensuelle Totale

Analyse de la consommation totale d'électricité par mois sur l'année 2017.

## 6.1 Observations principales

- **Tendance générale :**
  - Baisse en début d'année : janvier (env. 200 000 kWh) → février (env. 123 000 kWh).
  - Remontée progressive de mars à juin (env. 230 000 kWh).
  - Pic estival : juillet (env. 302 000 kWh) et août (env. 319 000 kWh) → plus forte demande annuelle.
  - Recul en automne : septembre (env. 252 000 kWh) → octobre (env. 193 000 kWh) → chute drastique en novembre (env. 12 000 kWh).
- **Point culminant :** Août, avec plus de 319 000 kWh, probablement dû à la climatisation intensive et à une activité élevée sur le campus.
- **Baisse importante en novembre :** Peut indiquer un manque de données pour ce mois ou une période de fermeture/vacances prolongée.

## 6.2 Interprétations possibles

- **Impact climatique :** Les mois chauds (juillet-août) coïncident avec une forte hausse de la consommation → climatisation principale cause.
- **Effet calendrier :** La chute en novembre pourrait refléter une interruption d'activité (vacances ou maintenance).
- **Optimisation :** Une gestion plus efficace de la climatisation et des systèmes énergétiques en été pourrait réduire ces pics.

# 7 Cycle Journalier Typique (Moyenne Horaire)

Analyse de la moyenne horaire de la consommation électrique (kWh) sur l'ensemble de la période, permettant d'identifier les cycles journaliers typiques.

## 7.1 Observations principales

- **Deux pics majeurs :**
  - **Matinée :** Entre 2h et 5h, consommation stable autour de 320–325 kWh, probablement liée aux systèmes fonctionnant en continu.
  - **Après-midi :** Pic maximal à 15h (environ 340 kWh), moment de forte activité humaine et climatique.
- **Creux marqué :**
  - Vers 9h, consommation minimale (environ 245 kWh), ce qui est atypique pour une activité diurne.
- **Baisse progressive en soirée :**
  - Après 18h, la consommation diminue régulièrement pour atteindre environ 260 kWh vers 22h–23h.

## 7.2 Interprétations possibles

- **Pic de l'après-midi :** Probablement causé par la combinaison d'activité intense et de la climatisation aux heures les plus chaudes.
- **Consommation nocturne élevée :** Présence d'équipements critiques fonctionnant 24/7 → potentiel d'optimisation.
- **Creux matinal :** À analyser plus finement, car inhabituel dans un contexte académique classique.

## 8 Cycle Hebdomadaire (Moyenne Quotidienne)

Analyse de la moyenne quotidienne de consommation électrique (kWh) en fonction du jour de la semaine (0 = lundi).

### 8.1 Observations principales

- **Consommation la plus élevée** : Lundi (0) et Samedi (5), avec environ 323–324 kWh.
- **Baisse progressive en milieu de semaine** : De mardi (1) à jeudi (4), la consommation diminue pour atteindre un minimum le jeudi (environ 255 kWh), soit une baisse d'environ 20 % par rapport au lundi.
- **Remontée nette le samedi** : Après le creux du jeudi, forte reprise le samedi, puis légère baisse le dimanche (6).

### 8.2 Interprétations possibles

- **Cycle d'activité particulier** : Le schéma ne correspond pas à un simple cycle "lundi-vendredi" classique.
- **Jeudi creux** : Pourrait correspondre à un jour avec peu de cours/activités sur le campus, ou à une maintenance régulière.
- **Consommation week-end** : La baisse relative le dimanche indique une activité réduite, mais pas un arrêt complet.

## 9 Consommation Électrique vs. Température Extérieure

Analyse de la relation entre la consommation moyenne d'électricité (kWh) et la température extérieure (°C).

### 9.1 Observations principales

- **Profil en "U" marqué** : La relation suit une courbe caractéristique.
- **Températures basses ( $< 10^{\circ}\text{C}$ )** : Consommation élevée (environ 320–380 kWh), liée au chauffage ou à la compensation thermique.
- **Zone de confort thermique ( $14\text{--}20^{\circ}\text{C}$ )** : Consommation minimale (environ 180–200 kWh), période où ni chauffage ni climatisation ne sont fortement sollicités.
- **Températures élevées ( $> 28^{\circ}\text{C}$ )** : Consommation repart à la hausse (environ 350–450 kWh), due au recours accru à la climatisation.
- **Variabilité importante aux extrêmes** : La dispersion est plus forte à basse température ( $< 8^{\circ}\text{C}$ ) et très haute température ( $> 40^{\circ}\text{C}$ ), suggérant des pics liés à des événements ponctuels.

### 9.2 Interprétations possibles

- **Sensibilité climatique** : La demande énergétique augmente aux extrêmes de température, confirmant l'influence directe de la météo.
- **Zone d'optimisation** : Autour de  $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$ , la consommation est naturellement basse. Viser cette plage intérieure via une meilleure isolation ou un contrôle climatique intelligent est une stratégie clé.
- **Potentiel d'analyse** : Croiser ces données avec l'occupation pourrait affiner l'explication des pics de variabilité.

## 10 Consommation Électrique vs. Taux d'Humidité

Analyse de la consommation moyenne d'électricité (kWh) en fonction du taux d'humidité (%).

### 10.1 Observations principales

- **Consommation élevée à faible humidité** : Pour des niveaux inférieurs à 20 %, la consommation est particulièrement haute (environ 360–400 kWh).
- **Zone basse (30–50 % d'humidité)** : Consommation moyenne la plus faible (environ 250–280 kWh), correspondant à des conditions climatiques modérées.
- **Remontée à forte humidité (> 70 %)** : Augmentation progressive de la consommation (environ 320–350 kWh), probablement due à la climatisation/déshumidification.

### 10.2 Interprétations possibles

- **Forme en "U" similaire à la température** : Consommation minimale dans une zone de confort (30–50 %), plus élevée aux extrêmes.
- **Impact climatique double** : À faible ou forte humidité, les systèmes de traitement de l'air travaillent davantage, augmentant la demande énergétique.
- **Opportunités d'optimisation** : Ajuster les consignes de CVC (Chauffage, Ventilation, Climatisation) pour limiter la consommation dans ces zones extrêmes.

## 11 Empreinte Carbone Totale Mensuelle (2017)

Analyse de l'empreinte carbone totale mensuelle (en kg de CO) pour l'année 2017.

### 11.1 Observations principales

- **Tendance similaire à la consommation** : Les variations suivent la même courbe que la consommation d'électricité, le CO étant calculé via un facteur d'émission fixe.
- **Périodes de forte empreinte** : Juillet (environ 250 000 kg CO) et août (environ 260 000 kg CO) sont les mois les plus émetteurs, en lien avec l'usage de la climatisation.
- **Périodes de faible empreinte** : Février (environ 100 000 kg CO) et novembre (environ 10 000 kg CO) enregistrent les valeurs les plus basses.

### 11.2 Interprétations possibles

- **Lien direct énergie-émissions** : Toute stratégie de réduction de la consommation électrique aura un impact proportionnel sur l'empreinte carbone.
- **Optimisation climatique prioritaire** : Une meilleure gestion de la climatisation en été est la piste principale pour réduire les émissions.

## 12 Corrélation Empreinte Carbone vs. Occupation Moyenne

Analyse croisée de l'empreinte carbone totale (kg de CO) et de l'occupation moyenne (nombre de personnes) par mois.

## 12.1 Observations principales

- **Corrélation partielle** : De mars à août, l'augmentation de l'occupation est globalement suivie par une hausse de l'empreinte carbone.
- **Périodes synchrones** : Juillet et août montrent des pics simultanés d'occupation et de CO.
- **Divergences notables** : En novembre, l'occupation est très élevée mais l'empreinte carbone est faible.

## 12.2 Interprétations possibles

- **Facteurs combinés** : L'occupation est un facteur clé, mais la météo et les usages des équipements jouent un rôle tout aussi important.
- **Décorrélations à investiguer** : Les écarts entre occupation et CO méritent d'être étudiés pour identifier des marges d'optimisation ou des anomalies de données.

# 13 Corrélation Empreinte Carbone vs. Température Moyenne

Analyse croisée de l'empreinte carbone totale (kg de CO) et de la température moyenne mensuelle (°C).

## 13.1 Observations principales

- **Lien fort en été** : De mai à août, la température moyenne élevée ( $> 30^{\circ}\text{C}$ ) coïncide avec une empreinte carbone très importante ( $> 200\,000$  kg CO).
- **Décalage au printemps** : Entre avril et juin, la température augmente fortement mais l'empreinte carbone ne monte que progressivement.
- **Baisse automnale synchronisée** : De septembre à novembre, la température et le CO diminuent ensemble.
- **Exception hivernale** : En janvier et février, les températures basses coïncident avec une empreinte carbone relativement élevée, suggérant un recours au chauffage.

## 13.2 Interprétations possibles

- **Corrélation dominante température–CO** : Les mois les plus chauds entraînent les plus fortes émissions, confirmant le rôle majeur de la climatisation.
- **Optimisation du refroidissement** : Agir sur l'efficacité du refroidissement est la stratégie la plus impactante pour réduire l'empreinte carbone estivale.

# 14 Détection d'Anomalies de Consommation

Analyse des anomalies de consommation pour chaque bâtiment en fonction du nombre de personnes présentes et de la consommation électrique (kWh). Les anomalies (points rouges) indiquent des comportements de consommation atypiques par rapport à la norme (points bleus).

## 14.1 BH — Boys Hostel

### 14.1.1 Observations principales

- **Anomalies à faible occupation (0–20 personnes)** : Plusieurs points à consommation élevée ( $> 35\text{--}40$  kWh) alors que peu ou pas de personnes sont présentes, suggérant des équipements laissés allumés inutilement.
- **Anomalies à occupation élevée ( $> 500$  personnes)** : Quelques points à consommation basse par rapport à l'occupation, indiquant un possible dysfonctionnement d'équipements ou des relevés incomplets.

- **Anomalies à occupation moyenne (100–400 personnes)** : Points au-dessus de 40–50 kWh, marquant une surconsommation ponctuelle (événements spéciaux, problèmes techniques).

#### 14.1.2 Interprétations possibles

- **Surconsommation hors horaires d’usage** : Détectée lorsque l’occupation est très faible mais la consommation reste haute.
- **Sous-consommation anormale** : Détectée quand beaucoup de personnes sont présentes mais la consommation est inhabituellement basse (défaillance ou coupure).
- **Besoins d’optimisation** : Ce type de graphique permet de cibler les plages horaires ou journées à investiguer pour comprendre la cause des anomalies.

### 14.2 SRB — Student Recreation Block

- **Contexte** : Faible capacité ( 25 personnes), consommation modérée.

#### 14.2.1 Observations

- Les anomalies sont présentes sur toute la plage d’occupation, mais plus fréquentes aux extrêmes.
- **Faible occupation (0–2 personnes)** : Certaines consommations anormalement élevées (> 20 kWh) indiquent des équipements laissés en marche hors utilisation.
- **Occupation > 15 personnes** : Quelques valeurs atypiquement basses par rapport au niveau d’occupation.

#### 14.2.2 Interprétation

- Surconsommations hors usage effectif à faible occupation.
- Sous-consommations potentielles à forte occupation, pouvant indiquer un capteur défectueux.

### 14.3 GH — Girls Hostel

- **Contexte** : Capacité élevée (jusqu’à 200 personnes), consommation moyenne plus faible ( 8–12 kWh).

#### 14.3.1 Observations

- **Faible occupation (0–5 personnes)** : Anomalies avec consommation relativement élevée (> 12 kWh), indicateur d’équipements communs toujours actifs.
- **Forte occupation (> 180 personnes)** : Anomalies avec consommation anormalement basse, suggérant un risque de sous-alimentation ou un relevé incomplet.

#### 14.3.2 Interprétation

- Présence d’une consommation de base importante, indépendamment du nombre d’occupants.
- Nécessité de vérifier les périodes de forte occupation où la consommation ne suit pas la tendance attendue.

### 14.4 LCB — Lecture & Classroom Block

- **Contexte** : Très forte capacité (> 400 personnes) mais consommation moyenne très faible (< 5 kWh).



#### 14.4.1 Observations

- Grand nombre d'anomalies même à faible occupation, avec des consommations très élevées ( $> 20$  kWh) par rapport au profil normal.
- La majorité des points normaux se situe en dessous de 5 kWh, montrant une faible consommation de base.
- Anomalies dispersées, suggérant l'activation ponctuelle d'équipements gourmands (climatisation, éclairage intensif).

#### 14.4.2 Interprétation

- Surconsommations isolées probablement dues à des événements spécifiques (cours spéciaux, conférences).
- Écart important entre la consommation de base et les pics détectés.

### 14.5 LB — Library Block

- **Contexte** : Capacité  $> 400$  personnes, consommation moyenne modérée (5–30 kWh).

#### 14.5.1 Observations

- **Profil triangulaire** : Plus l'occupation augmente, plus la plage de consommation diminue.
- **Anomalies principales** :
  - À faible occupation ( $< 50$  personnes) avec consommation maximale ( $> 25$  kWh).
  - À occupation élevée ( $> 300$  personnes) avec consommation anormalement basse.

#### 14.5.2 Interprétation

- Surconsommations hors horaires d'affluence.
- Possible sous-utilisation énergétique lors des pics d'occupation.

### 14.6 DB — Dining Block

- **Contexte** : Capacité 300 personnes, consommation moyenne élevée (10–50 kWh).

#### 14.6.1 Observations

- Forte densité d'anomalies aux extrêmes :
  - Surconsommations  $> 50$  kWh pour une occupation faible ( $< 50$  personnes).
  - Sous-consommations pour une forte occupation ( $> 200$  personnes).
- Consommation normale concentrée entre 20 et 40 kWh pour une occupation de 50–150 personnes.

#### 14.6.2 Interprétation

- Consommation de base élevée (cuisine, réfrigération) même sans affluence.
- Risque de sous-performance énergétique en période de service complet.

## 15 Présentation du Système

Afin d'aider à la prise de décision et à la réduction de l'empreinte carbone des bâtiments, un moteur de recommandations contextuelles a été mis en place. Ce moteur analyse, pour chaque enregistrement de données, différents indicateurs tels que la consommation d'électricité, le niveau de CO<sub>2</sub>, la température, l'humidité, l'occupation et la classification en clusters.

## 16 Logique de Recommandation Automatisée

Les recommandations sont générées automatiquement en fonction d'un ensemble de règles prédéfinies, conçues pour identifier les opportunités d'optimisation les plus courantes.

### 16.1 CO élevé

Si le CO total dépasse 1000 kg, le système suggère de **réduire l'utilisation d'équipements énergivores et d'améliorer la ventilation**.

### 16.2 Température élevée en été

Si la température excède 26 °C pendant les mois d'été (juin, juillet, août), il est recommandé de **limiter l'utilisation des climatiseurs durant les heures les plus chaudes**.

### 16.3 Consommation nocturne anormale

Si la consommation d'électricité dépasse 100 kWh avant 6h du matin, il est conseillé d'**installer des systèmes d'éclairage automatisés avec détecteurs de présence**.

### 16.4 Bâtiment peu occupé mais énergivore

Si l'occupation est inférieure à 3 personnes et que la consommation d'électricité dépasse 200 kWh, le système recommande de **déconnecter les équipements inutiles**.

### 16.5 Humidité excessive

Si l'humidité relative dépasse 85 %, il est préconisé d'**activer la ventilation naturelle ou d'utiliser un déshumidificateur**.

### 16.6 Analyse par clusters

L'analyse par clusters permet d'affiner les recommandations en fonction du profil énergétique global :

- **Cluster 2** : Il est suggéré d'optimiser les horaires d'utilisation pour mieux profiter des périodes creuses.
- **Cluster 3** : Une vérification des équipements restant inutilement en veille est recommandée.

### 16.7 Bon comportement énergétique

Si aucune des conditions d'anomalie ci-dessus n'est remplie, un message positif est affiché pour encourager la poursuite des bonnes pratiques :

*Aucune action urgente. Bon comportement énergétique.*

## 17 Conclusion

Ce système offre une approche proactive de la gestion énergétique, en traduisant les données techniques en recommandations simples et actionnables. Cela permet aux gestionnaires de bâtiments d'identifier rapidement les actions prioritaires pour réduire durablement la consommation et l'empreinte carbone du campus.