

# SHARDS

Bilan Carbone – Temps Réel VS Précalculé

*Utilisation du Carbulator V2*

# Temps Réel VS Précalculé – Comparatif Carbone

- Shards CGI a développé un **pipeline de fabrication 3D en temps réel** (hors rig et animation) utilisant Unreal Engine pour la production de la saison 2 de Mush-Mush et les Champotes produite par La Cabane Productions et Thuristar. Le temps réel permet de réduire drastiquement les temps de rendu (environ 5 secondes de rendu par image) mais nécessite cependant des cartes graphiques plus puissantes.
- L'objectif de cet exercice est de confronter **le bilan carbone de deux pipelines de fabrication** afin de mettre en lumière, à production similaire, la différence entre deux méthodes de production. Nous comparerons ainsi :
  - **Le pipeline en temps réel sous Unreal Engine** développé par Shards avec des **données effectives et mesurées** au cours des trois dernières années
  - **Un pipeline en précalculé sous Blender** avec des **données théoriques extrapolées** par nos connaissances et notre expérience d'un pipeline en précalculé. Les données hypothétiques concernent : le temps de rendu nécessaire, la taille de la ferme de rendu, sa consommation d'électricité ainsi que celle d'une climatisation pour son refroidissement. Les autres données seront les données réelles de fabrication : temps de travail des équipes et habitudes de consommation, nombre de versions, nombre de machines nécessaires pour la fabrication effective des artistes, infrastructure globale (etc...).
- **Méthodologie utilisée par le Carbulator V2 (carbulator.fr) développé par AnimFrance :**
  - Mesure de l'impact des sites
  - Mesure de l'impact des productions sur les années passées dans les sites
  - Impact global

La méthodologie utilisée par le Carbulator se compare à de l'analytique en comptabilité et propose donc d'évaluer à l'échelle des structures et de leur consommation pour en tirer une estimation de l'impact carbone annuellement. Cette masse carbone est ensuite répartie selon les productions en fonction de leur temporalité, des moyens humains et machines utilisés pour sa bonne réalisation. Mush-Mush ayant mobilisé la quasi-intégralité des ressources du studio à partir de juin 2021 jusqu'à fin 2023, ce sera la seule production intégrée dans ces bilans carbone.

# PARTIE 1 – BILAN CARBONE REEL

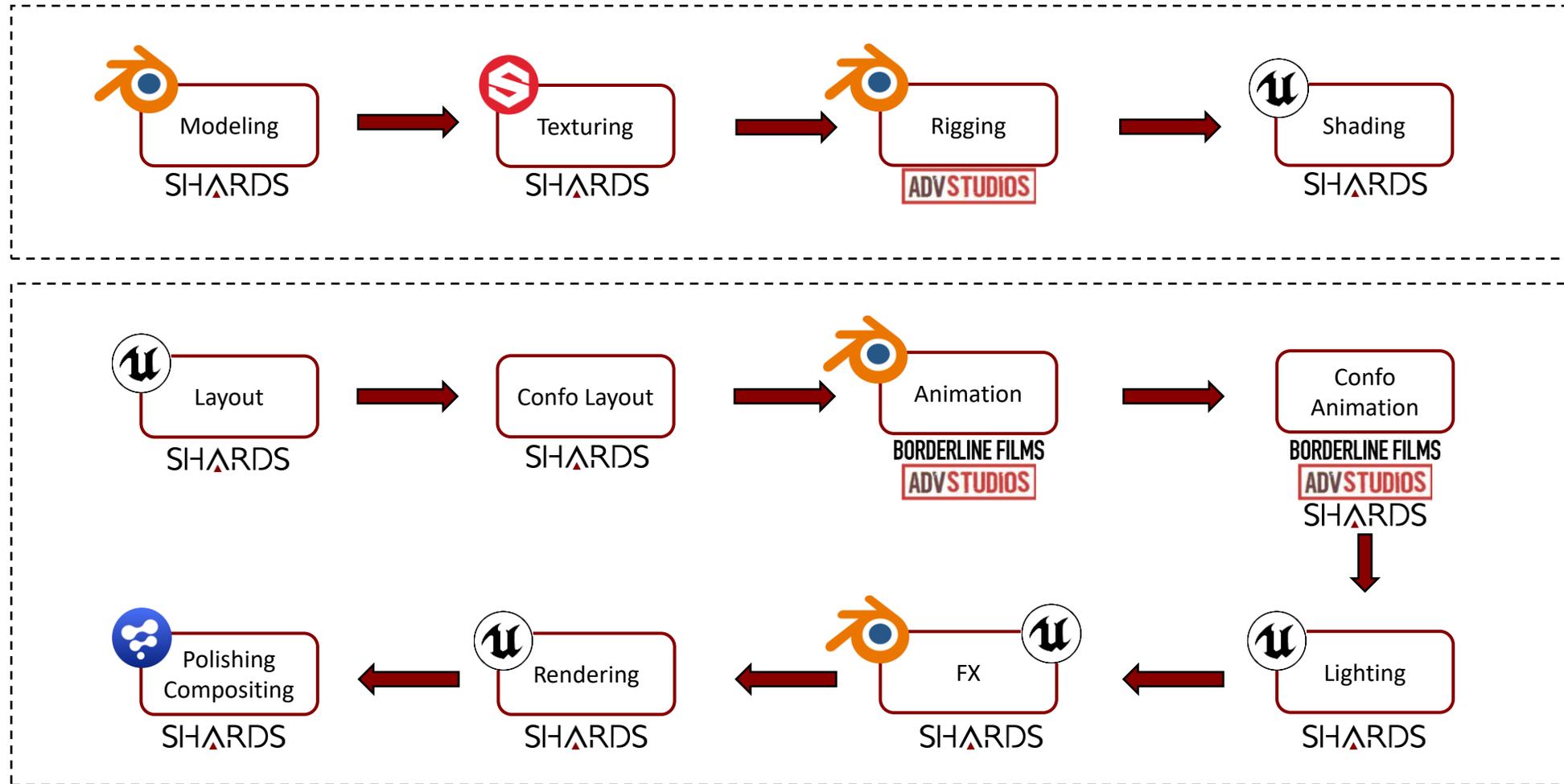
*Pipeline de Fabrication Unreal Engine*

# Bilan Carbone - Pipeline Temps Réel - Données

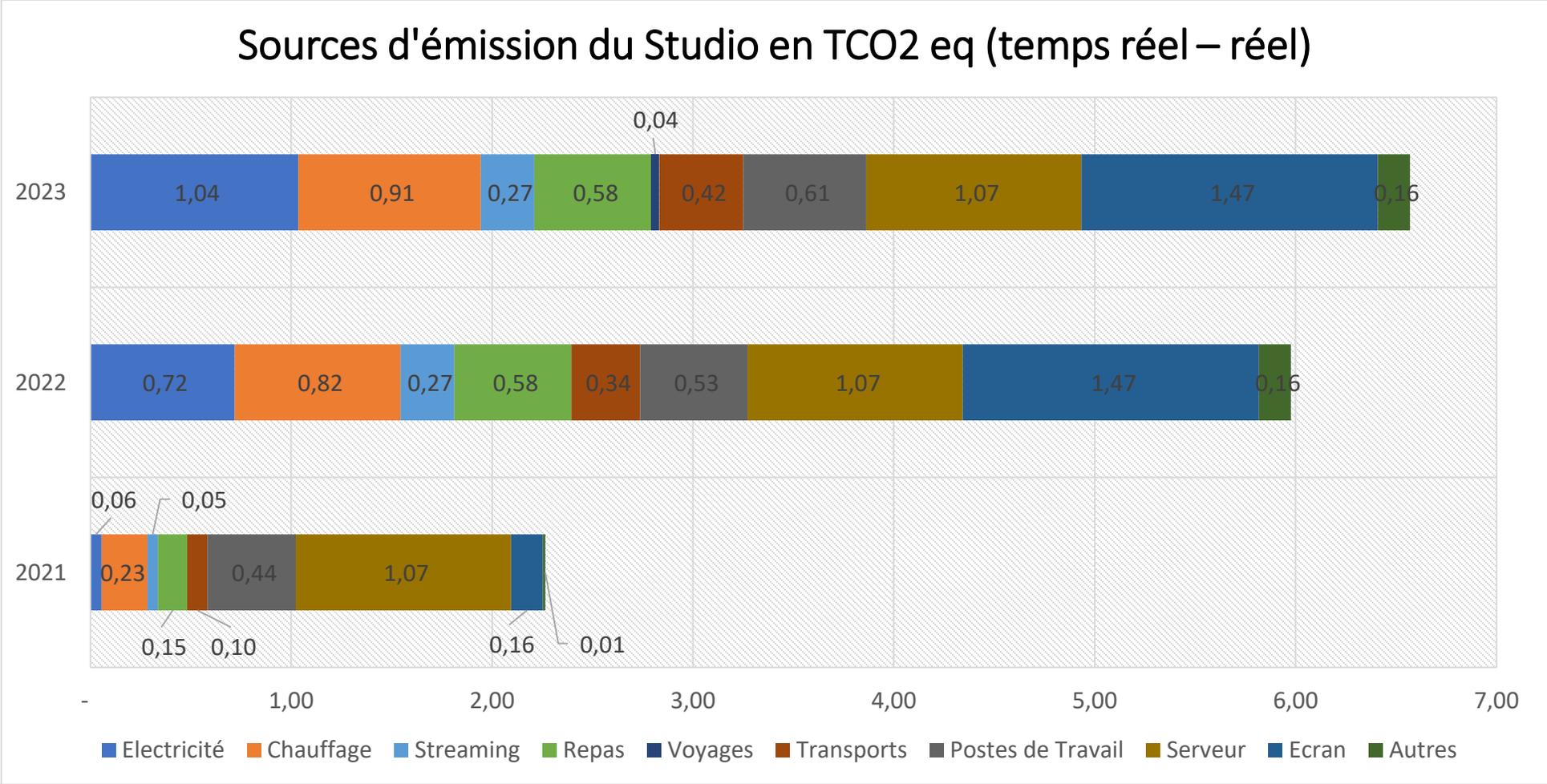
---

- **Les étapes de fabrication 3D intégrées chez Shards sont :**
  - Assets : conformation des assets de la saison 1 de Blender à Unreal, modélisation, texture, shading des nouveaux assets de la saison 2
  - Shots : layout, conformation layout, conformation animation, lighting, FX, rendering, compositing
  - Le rig et l'animation 3D ont été fabriqués par ADV Studios et Borderline Films, ces étapes ne seront pas intégrées dans les bilans carbone
- **Planning de Fabrication de 2021 à 2023 :**
  - Fabrication du layout : de janvier 2022 à mai 2023
  - Fabrication du lighting-compositing : de juin 2022 à novembre 2023
- **Evolution du parc des machines de 2021 à 2023**
  - Acquisition de machines pour le layout en décembre 2021 (cartes graphiques RTX 3090)
  - Acquisition de machines pour le lighting-compositing en mai 2022 (cartes graphiques RTX A6000)
  - Pas de salle de serveur de rendu, ce sont les machines des artistes qui effectuent une grande partie des calculs nécessaires pendant les pauses déjeuner et la nuit.
- **Le « Temps de Rendu » comprend l'intégralité des étapes de fabrication** qui sollicitent du temps machine pour des calculs (layout, conformation du layout, conformation et intégration de l'animation, lighting, FX, compositing) et l'intégralité des versions nécessaires pour la finalisation des images.

# Présentation Pipeline 3D Temps Réel sous Unreal Engine



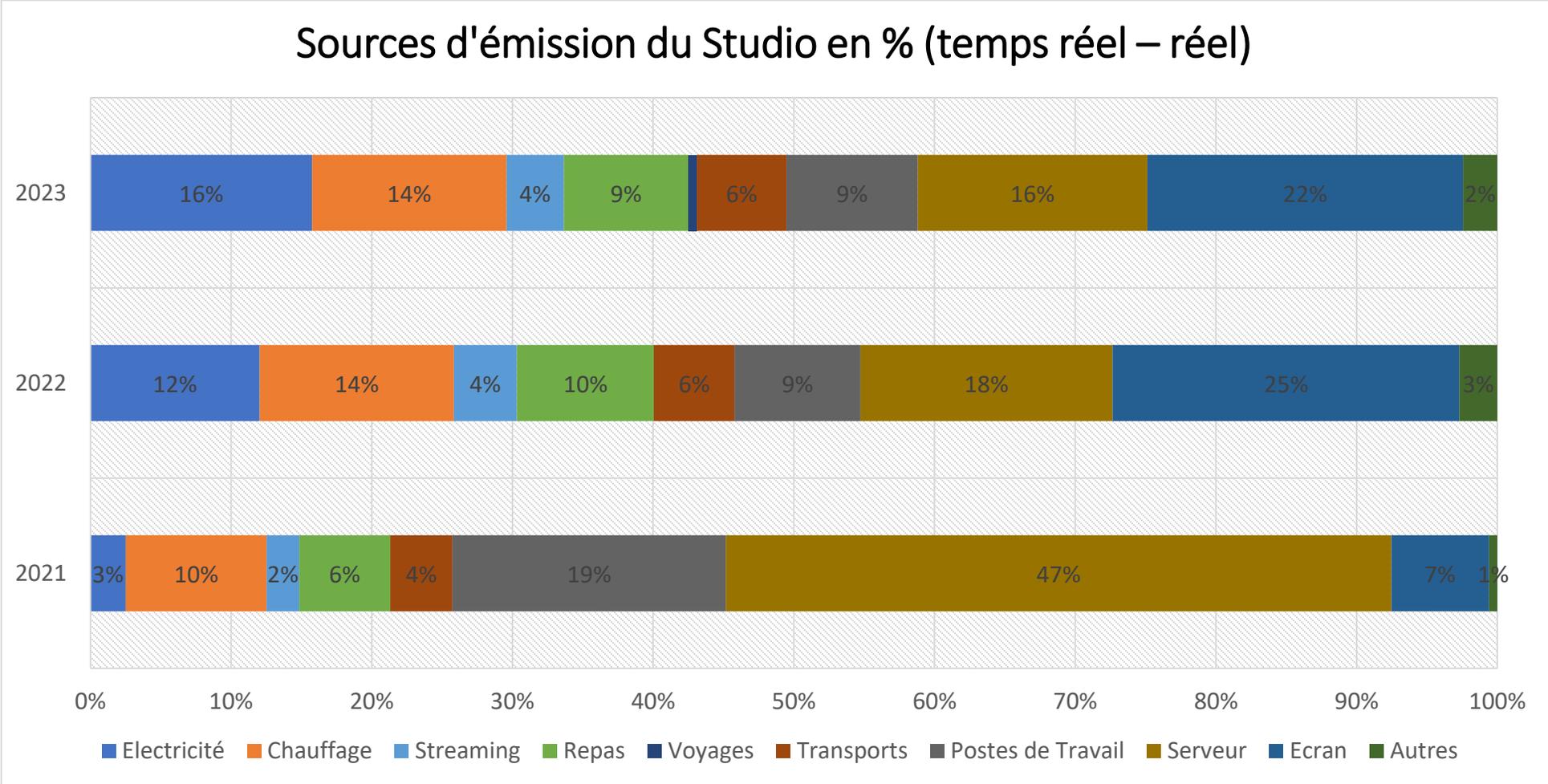
# 1-A) Impact du Studio (1/3) – Données en TCO2eq



Les données de 2021 sont plus faibles puisque les locaux ont été investis en septembre 2021.



# 1-A) Impact du Studio (2/3) – Données en %



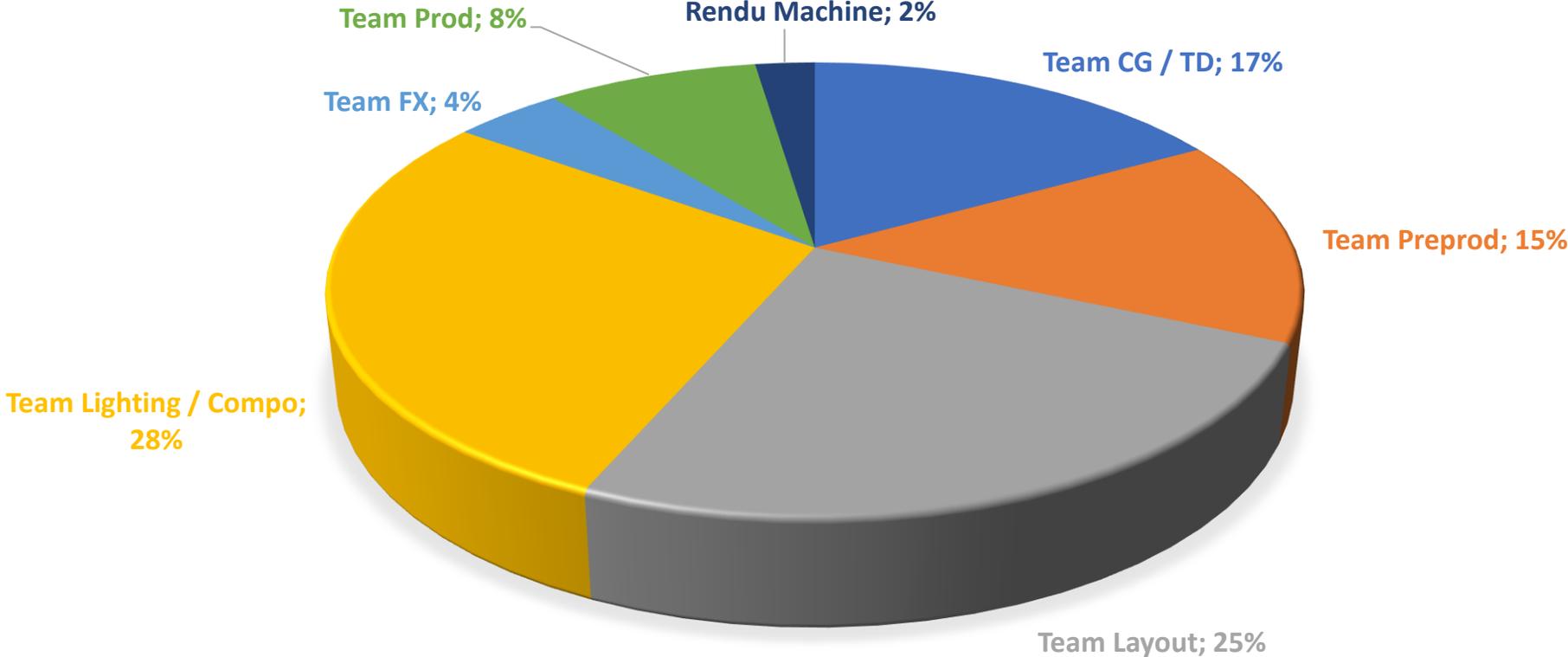
# 1-A) Impact du Studio (3/3) - Analyse

---

- **Postes les plus consommateurs :**
  - Serveurs de stockage (3 serveurs de stockage)
  - Ecrans (2 écrans par artiste)
  - Electricité (montée en capacité du studio et utilisation d'une climatisation d'appoint en été)
  - Chauffage (montée en capacité du studio)
- **Postes moyennement consommateurs mais à nuancer :**
  - Alimentation (régimes majoritaires avec pas ou très peu de viande rouge)
  - Postes de travail (le détail des stations de travail notamment sur les composants des cartes graphiques ne sont pas encore spécifiables dans la V2 du Carbulator, l'impact des cartes graphiques nécessaires pour Unreal n'est donc pas pris en compte ici).
- **Postes peu ou pas consommateurs :**
  - Transports (le studio est situé en région parisienne d'où une utilisation majoritaire des transports en commun)
  - Déplacement professionnel (pas de déplacement en avion)
  - Salle serveur (poste absent car pas de ferme de rendu)
  - Refroidissement (poste absent car pas de climatisation pour une salle de rendu) – la climatisation est incluse dans la consommation d'électricité

# 1-B) Impact de Production (1/2) - Données

COMPOSITION DE L'IMPACT CARBONE DU PROJET (3D TEMPS RÉEL HORS RIG ET ANIM – UNREAL – REEL)  
TOTAL DE 7,8 TCO2EQ



# 1-B) Impact de Production (2/2) - Analyse

---

- Empreinte carbone globale du projet égale à **7,8 TCO<sub>2</sub>eq (150 kgCO<sub>2</sub>eq par épisode)**
  - 2 ans et demi de production
  - Equipe de 4 à 15 personnes
- L'impact carbone du rendu est négligeable (2%) par rapport à l'impact des équipes (98%) qui comprend l'amortissement de leurs machines. **Le temps de rendu est bien moindre comparé au temps travaillé et effectif des équipes** (environ 6500 heures de rendu VS 35 000 heures de travail).
- Nous avons pu observer que la consommation moyenne par personne varie entre 1kg et 0.5kgCO<sub>2</sub>eq par jour.
- Sachant que la production a mobilisé environ 5000 jours de travail, en ne considérant que les habitudes de consommation propres au personnel du studio sans intégrer leur utilisation des machines, nous arrivons environ à 3 tonnes sur les 7.8 TCO<sub>2</sub>eq nécessaires pour produire la série.
- Le gros de l'impact réside donc dans l'utilisation des machines (et l'amortissement de leur coût carbone à la fabrication).

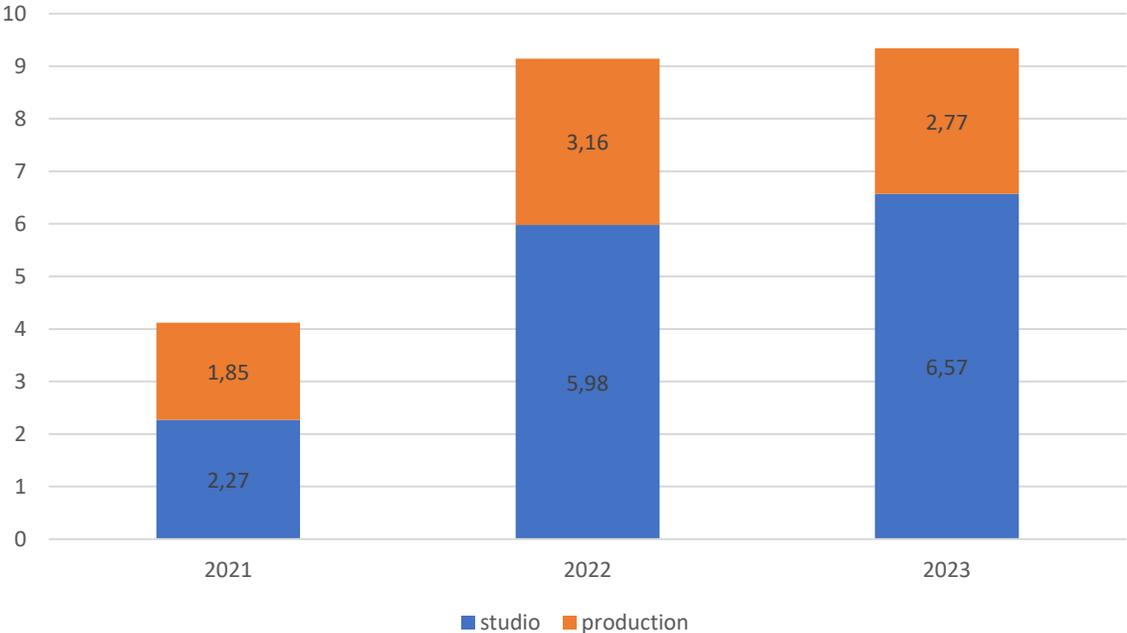
# 1-B) Impact de Production (2/2) – Equivalents 7,8 TCO2

---

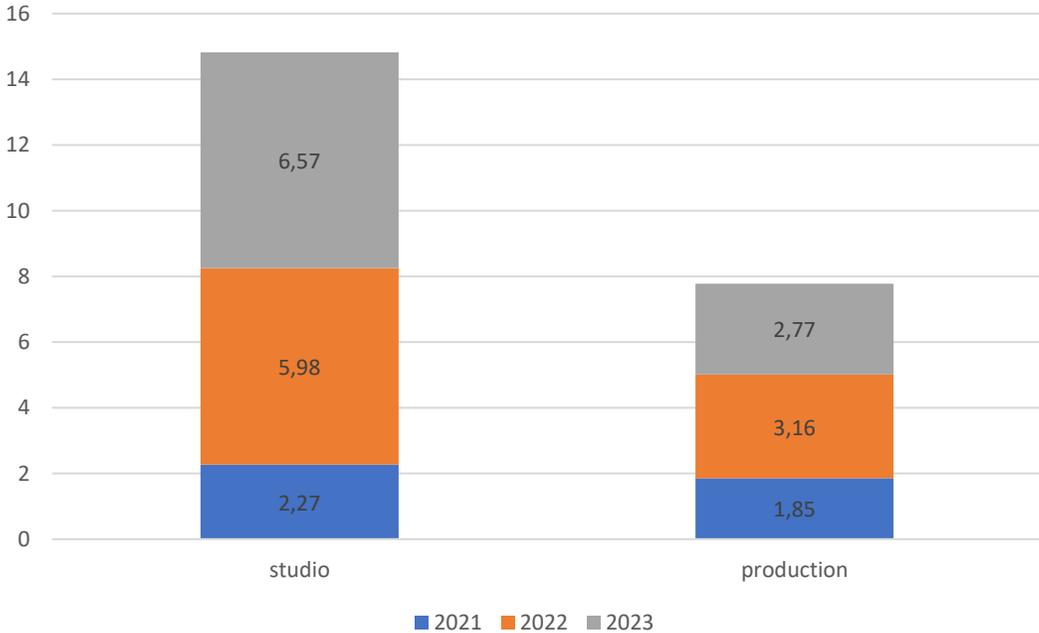


# 1-C) Impact Global – Consolidation des Données

Empreinte carbone globale par année (en TCO2eq)



Empreinte carbone studio VS production (en TCO2eq)



# PARTIE 2 – BILAN CARBONE THEORIQUE

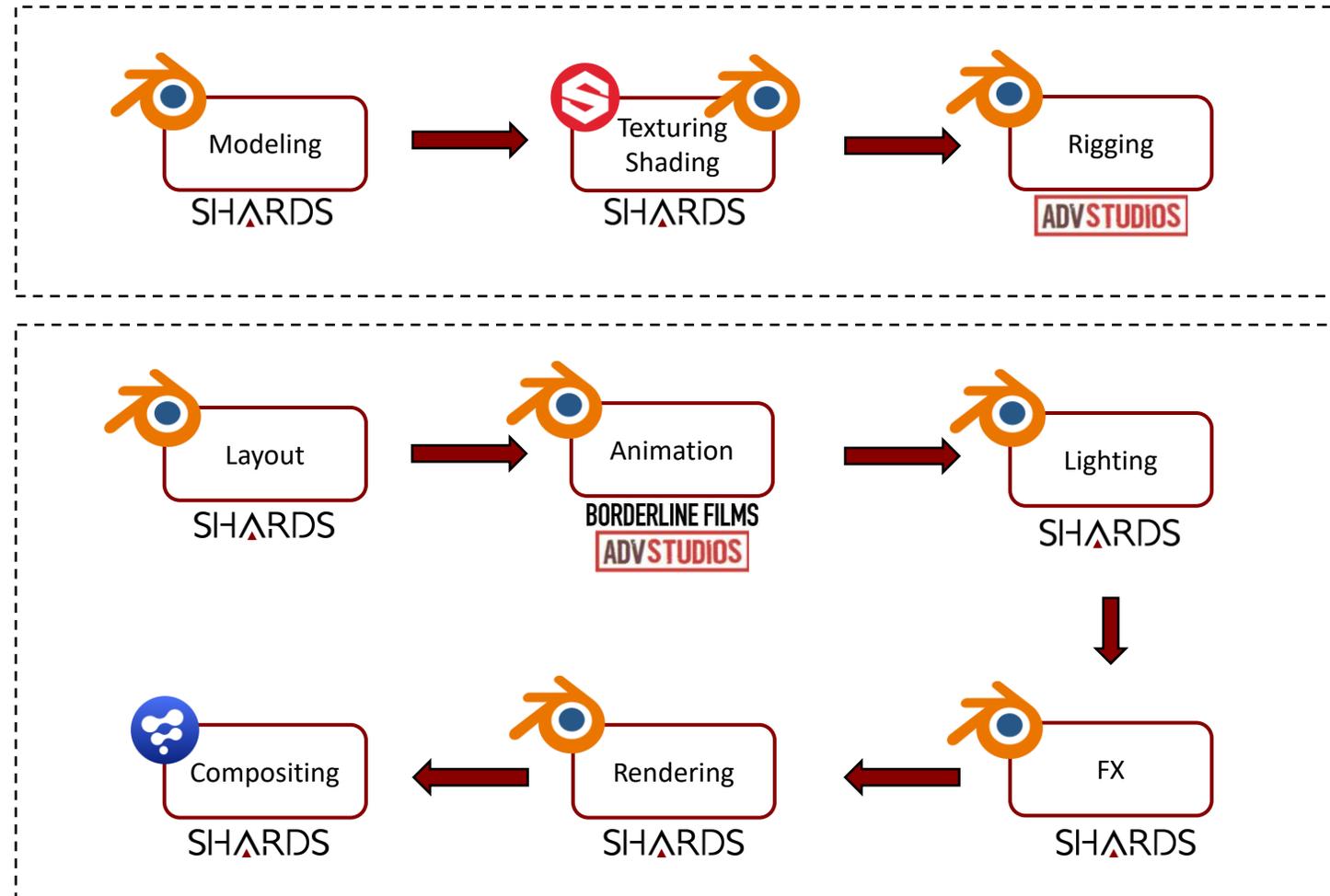
*Pipeline de Fabrication Blender*

# Bilan Carbone - Pipeline Précalculé – Hypothèses

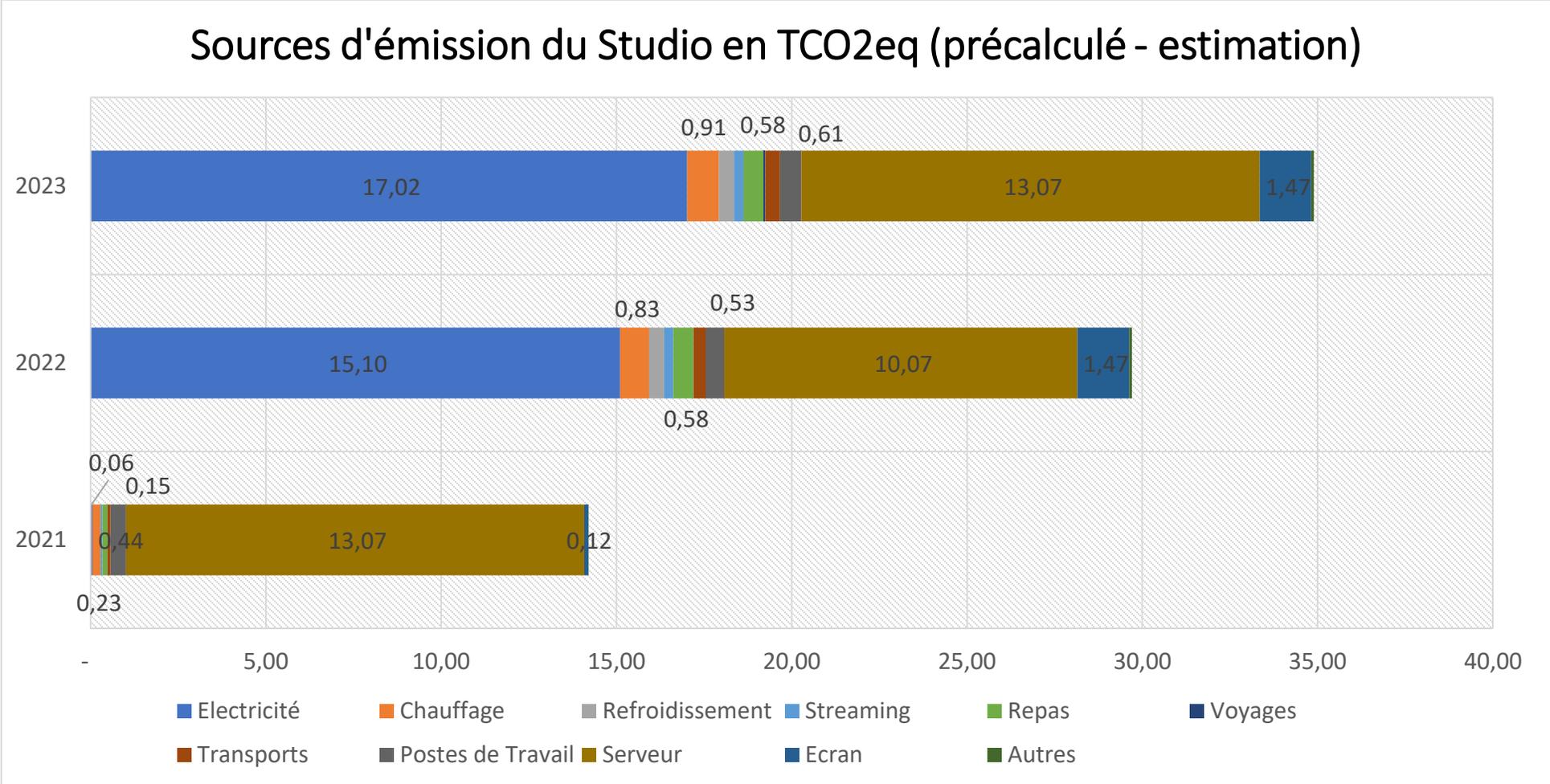
---

- **Les étapes de fabrication 3D intégrées chez Shards sont :**
  - Assets : conformation des assets de la saison 1 sous la nouvelle version de Blender, modélisation, texture, shading des nouveaux assets de la saison 2
  - Shots : layout, lighting, FX, rendering, compositing
  - Le rig et l'animation 3D ont été fabriqués par ADV Studios et Borderline Films, ces étapes ne seront pas intégrées dans les bilans carbone
- **Evolution des effectifs de 2021 à 2023 (mêmes hypothèses d'effectif, de nombre de jours travaillés et de consommations qu'en partie 1) :**
  - Fabrication du layout : de janvier 2022 à mai 2023
  - Début du lighting-compositing : de juin 2022 à novembre 2023
- **Evolution du parc des machines de 2021 à 2023 :**
  - Acquisition de machines pour le layout en décembre 2021
  - Acquisition de machines pour le lighting-compositing en mai 2022
  - Acquisition d'un parc de machines pour la ferme de rendu en avril 2022 (environ 150 machines)
- **Le « Temps de Rendu » comprend uniquement le temps de mobilisation des machines pour les étapes de rendu du lighting (1h par image) et du compositing (8 secondes par image) et une estimation de versions nécessaires pour permettre la livraison d'une version par semaine (une image est rendue 1,5 fois en moyenne en lighting et 2 fois en compositing) et traiter 30% d'un épisode en retake.**
- **La consommation en électricité** est impactée par **une ferme de rendu** qui fonctionne 25 jours par mois pour assurer les bonnes livraisons et une consommation par machine de 0,321 kWh. **Une climatisation** est également installée avec une consommation de 3000 kWh annuel en 2022 et 2023 pour la salle serveur.

# Présentation Pipeline 3D Précalculé sous Blender



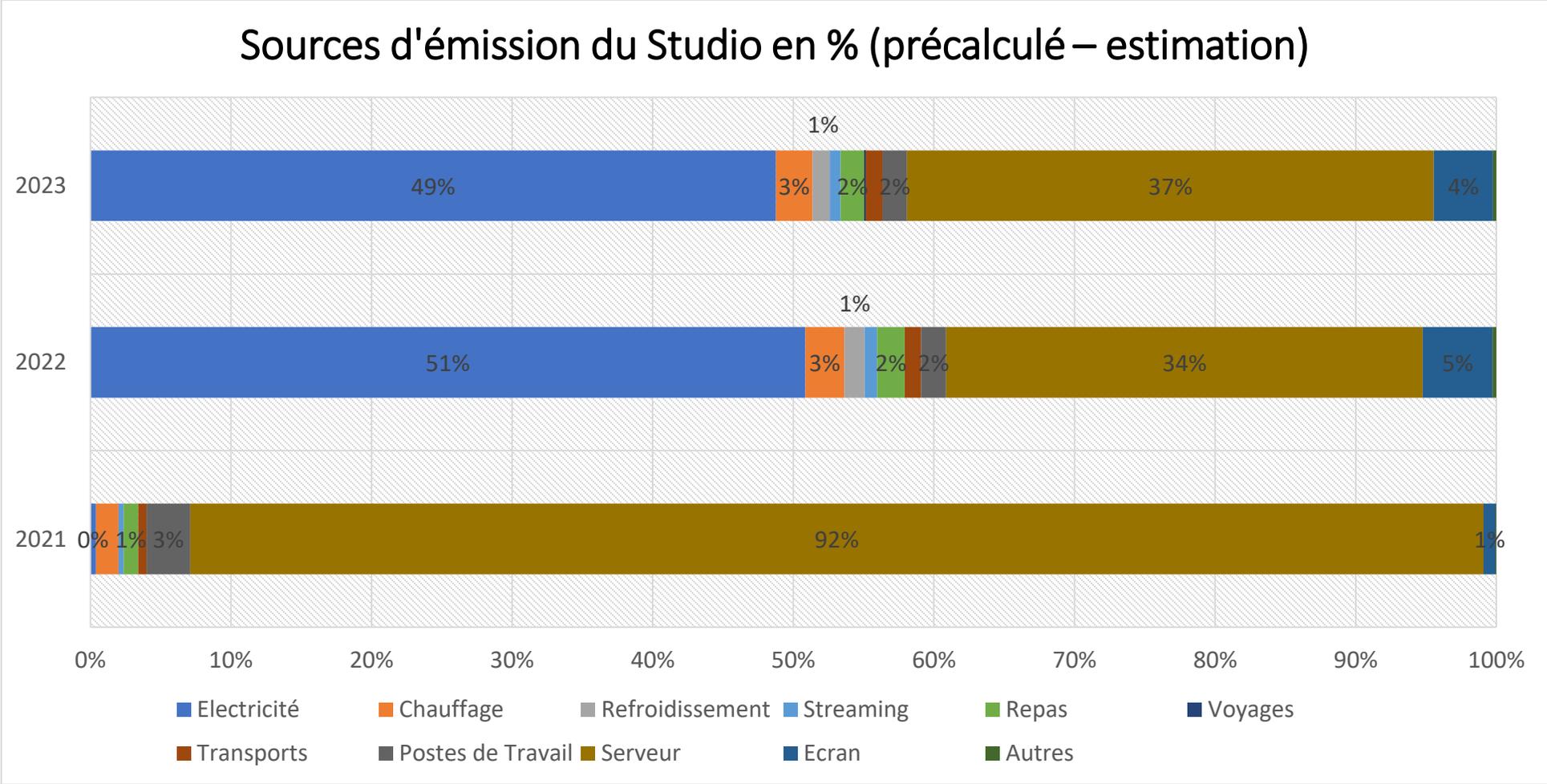
# 2-A) Impact du Studio (1/3) – Données en TCO2eq



Les données de 2021 sont plus faibles puisque les locaux ont été investis en septembre 2021.



# 2-A) Impact du Studio (2/3) – Données en %



# 2-A) Impact du Studio (3/3) - Analyse

---

- **Postes les plus consommateurs :**

- Electricité : la consommation de la ferme de rendu (0,321 kWh par machine pour un parc de 150 machines) représente 260 000 kWh en moyenne par an (entre 2022 et 2023). Ce qui représente environ l'équivalent de 15 tonnes de CO2 dégagés par an.
- Serveur : sont compris ici les serveurs de stockage (impact moindre) et la salle de serveur de rendu qui représente en moyenne 12 tonnes de CO2 par an.

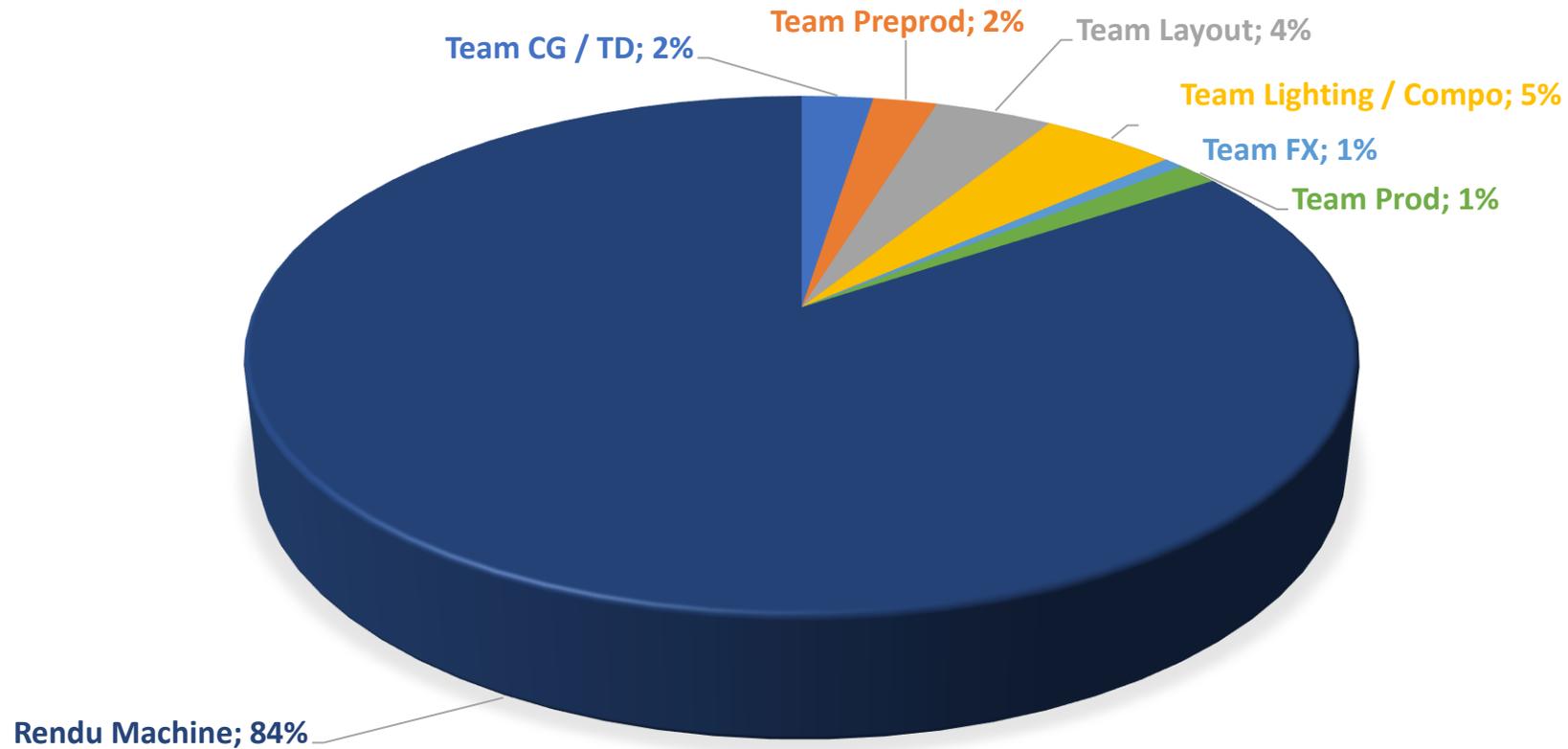
- **Postes peu consommateurs :**

- Ecrans (2 écrans par artiste)
- Postes de travail (pour le précalculé, les données du Carbulator sont ici adéquates, cette donnée sera également à affiner pour différencier les postes entre les différents départements tels que le layout et le lighting).
- Chauffage
- Alimentation (régimes majoritaires avec pas ou très peu de viande rouge)
- Refroidissement (climatisation de la salle de rendu)

## 2-B) Impact de Production (1/2) - Données

---

COMPOSITION DU PROJET (3D PRECALCULE HORS RIG ET ANIM – BLENDER – ESTIMATION)  
TOTAL DE 52 TCO2EQ



## 2-B) Impact de Production (2/2) - Analyse

---

- Empreinte carbone globale du projet égale à **52 TCO<sub>2</sub>eq (1 TCO<sub>2</sub>eq par épisode)**
  - 2 ans et demi de production
  - Equipe de 4 à 15 personnes
- **L'impact carbone du rendu est bien supérieur (84%) par rapport à l'impact des équipes (16%)** qui comprend l'amortissement de leur machines. Le temps de rendu global de la série est en effet de 1 600 000 heures contre environ 35 000 heures travaillées. Le temps de rendu moyen d'une frame et les délais de livraison rendent nécessaire un parc conséquent de machines dont le coût carbone est amorti ici.
- Comme en temps réel, c'est l'équipe du lighting-compositing qui a l'impact le plus fort avec 5% de l'impact total de la production car c'est l'équipe qui comptabilise le plus de jours homme travaillés.

# 1-B) Impact de Production (2/2) – Equivalents 52 TCO2

---

☰  ✕

**17 747 440**

km en tgv

↑ Comparer

☰  ✕

**238 971**

km en voiture

↑ Comparer

☰  ✕

**342 195**

km en avion

↑ Comparer

☰  ✕

**132**

ordinateurs fixes sans écran

↑ Comparer

☰  ✕

**7 163**

repas avec du boeuf

↑ Comparer

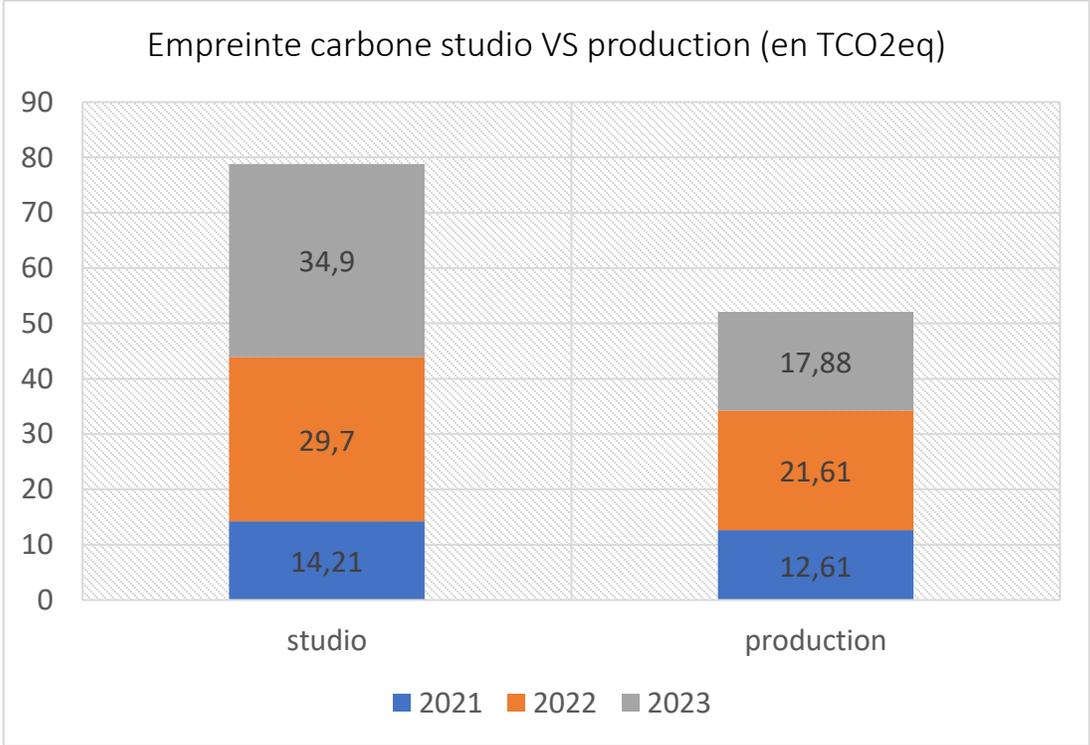
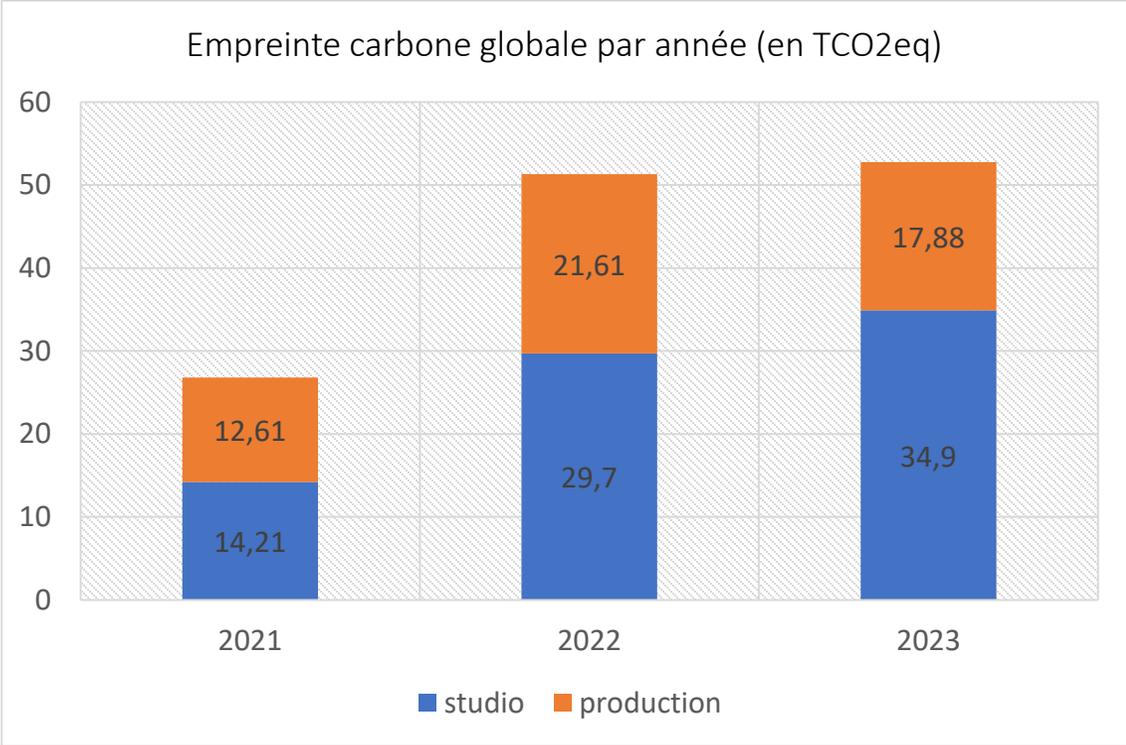
☰  ✕

**911 268**

heures de visioconférence

↑ Comparer

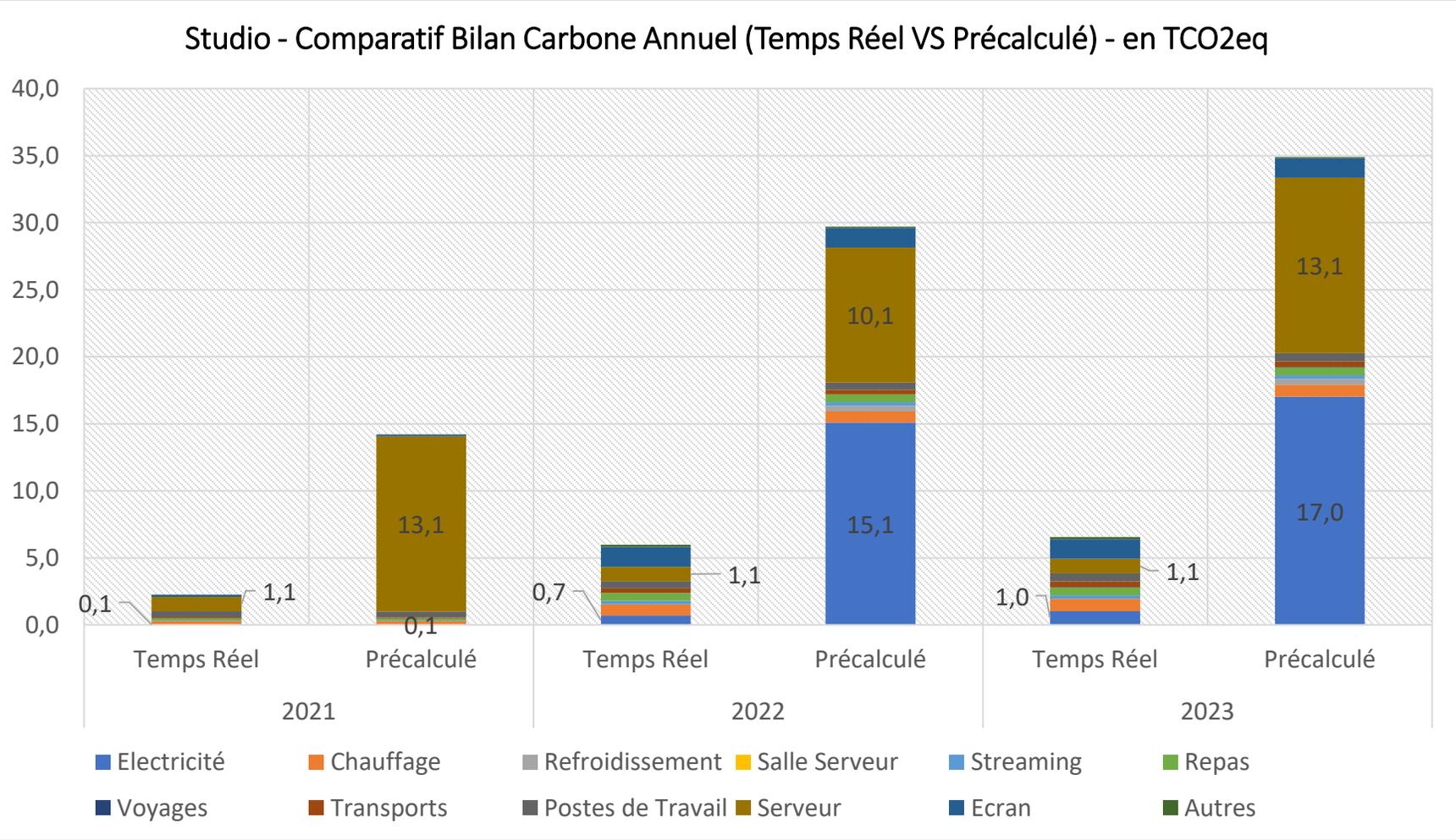
# 2-C) Impact Global – Consolidation des Données



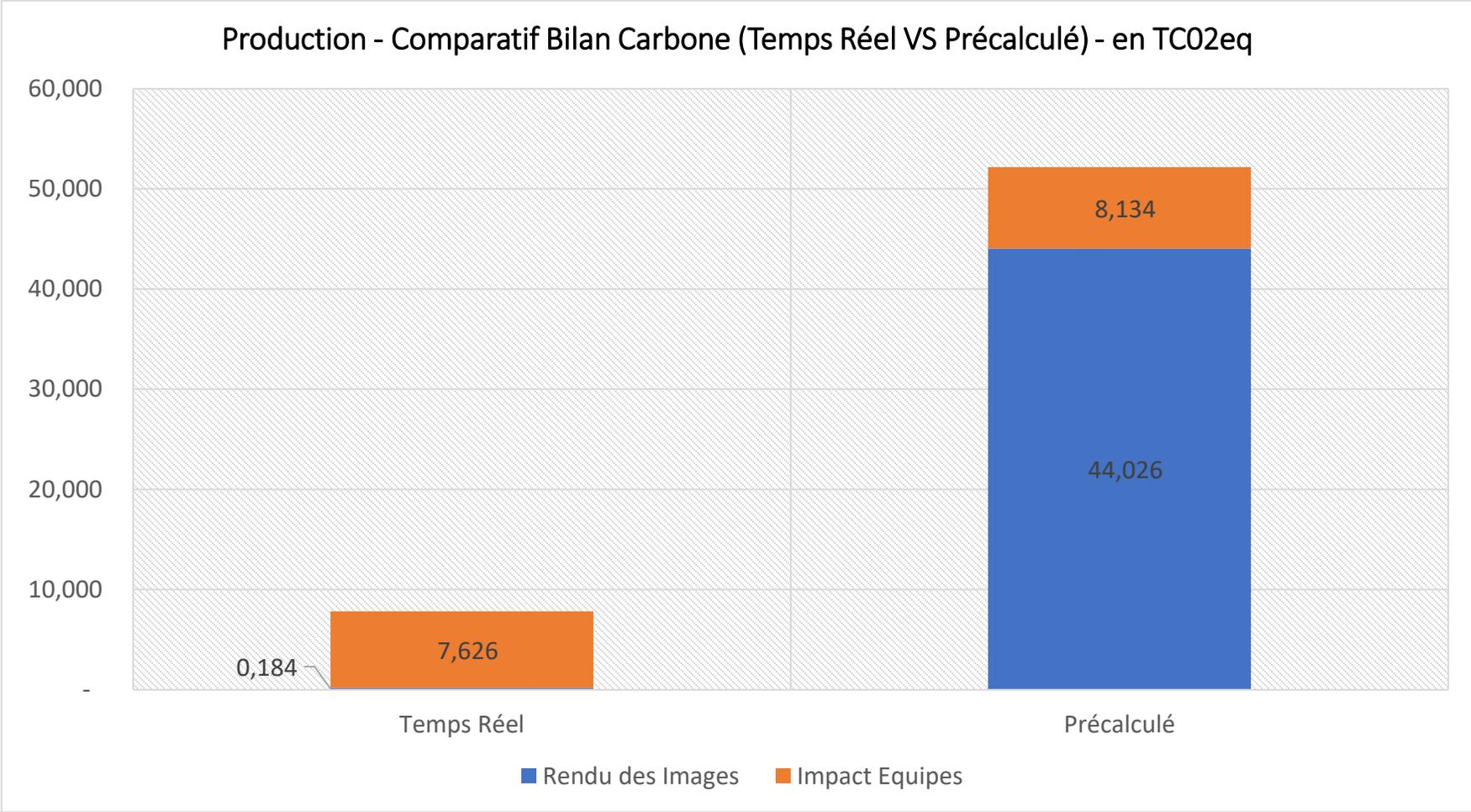
# PARTIE 3 – ANALYSE COMPARATIVE

*Temps Réel VS Précalculé*

# Comparaison des Bilans Carbone - Studio



# Comparaison des Bilans Carbone - Production



# Bilan de l'Analyse Comparative

---

- La comparaison des deux bilans carbone est claire, le pipeline en temps réel est bien plus économe que le pipeline en précalculé avec les données suivantes :
  - Un coût carbone de la production de **7,8 TCO<sub>2</sub>eq en temps réel** contre **52 TCO<sub>2</sub>eq en précalculé** (quasiment 7 fois plus)
  - Un coût carbone de l'infrastructure bien moindre annuellement avec un parc de machine restreint et une consommation en électricité bien inférieure : une **moyenne annuelle de 6,3 TCO<sub>2</sub>eq en temps réel** (entre 2022 et 2023 uniquement) contre **une moyenne annuelle de 32,3 TCO<sub>2</sub>eq** (environ 5 fois plus).
- Les deux pipelines que nous avons comparés diffèrent de plusieurs façons :
  - Dans le pipeline Unreal, certaines **étapes supplémentaires** sont à prendre en compte : celle des interfaces entre Unreal et Blender (la conformation layout et la conformation animation qui mobilisent du temps de CG/TD et du temps de machines de rendu). A titre d'exemple, si le rendu dans Unreal a pris en moyenne 5 secondes par image, la conformation d'animation et son intégration dans Unreal a pris en moyenne 5 secondes par image.
  - Dans le pipeline Unreal, **l'étape du lighting permet d'aller plus loin** et intègre quasiment tout le compositing classique, la phase de final compositing, très légère, permet de peaufiner et d'intégrer certains effets particuliers.
  - Dans le pipeline Blender, le temps de rendu moyen est de 1h par image, ce qui nécessite donc **une ferme de rendu** (environ 150 machines) pour calculer les images et respecter un planning de livraison d'un épisode par semaine.
  - L'utilisation d'Unreal nécessite des **machines plus puissantes** pour le layout, le lighting et le rendu (cartes RTX 3090 et RTX A6000) alors que celles utilisées dans le pipeline Blender sont moins puissantes (carte RTX 2080 TI dans nos hypothèses).

# Limites de la Méthodologie Utilisée et Pistes de Recherches

---

- Les résultats de cette analyse comparative sont à nuancer pour trois raisons :
  - Si le bilan carbone du **pipeline en temps réel** est basé sur des **données effectives** (relevées lors de la production), celles du **pipeline en précalculé** restent des **hypothèses** et sont basées sur l'expertise de notre équipe technique et sont le résultat de calculs mathématiques.
  - Les fonctionnalités d'Unreal (prévisualisation des modifications en temps quasi réel, travail en séquenceur, layout validé avec lighting...) permettent **l'optimisation de certaines étapes de fabrication**. En absence de données concrètes et mesurées, les données de temps passé par plan et les pourcentages de retakes sont les mêmes pour les étapes communes aux deux pipelines.
  - Les données d'empreinte carbone du matériel utilisé en temps réel sont les mêmes que celles du matériel utilisé en précalculé dans notre simulation. **La différenciation selon le matériel n'est en effet pas encore accessible** dans la version 2 du Carbulator. Ce résultat sera donc à confronter avec les versions ultérieures du logiciel.
- Afin de comparer **l'impact du matériel utilisés dans les deux pipeline**, il convient de confronter plusieurs données :
  - Le coût de fabrication qui représente environ 80% du coût total (ADEME, 2020)
  - Le coût à l'usage qui représente environ 20% du coût total (ADEME, 2020)
  - Le coût de transport que nous considérons négligeable (environ 0,4% dans les données référencées par Dell)

# Comparaison des Cartes Graphiques

---

- A l'usage, les cartes graphiques utilisées en **temps réel sont légèrement plus énergivores que celles du précalculé**, sachant que ce sont les A6000 qui sont utilisées pour le rendu des images finales en temps réel (voir tableau ci-dessous).
- Les cartes graphiques utilisées pour le temps réel sont dites plus « puissantes » car elles comptent plus de cœurs et plus de mémoire graphique. **C'est cette différence de « puissance » qu'il convient de quantifier en terme de coût carbone** du matériel à la fabrication (80% de l'impact). Sans les données des constructeurs sur le coût de fabrication de ces différents composants, il est difficile de dresser des conclusions.
- Cependant, même sans ces données, l'utilisation du temps réel permet « l'économie », à production égale, d'une ferme de rendu comptant 150 machines. Il faudrait donc que l'impact de la fabrication d'un parc de machine nécessaire au temps réel (quelques dizaines) soit supérieur à la somme de l'impact de la fabrication du parc d'une ferme de rendu de 150 machines et de celui des quelques 1,6 millions d'heure de calcul nécessaires à la production.

Carte	RTX 3090 NVIDIA	RTX A6000 NVIDIA	RTX 2080 TI NVIDIA
Pipeline	Temps Réel	Temps Réel	Précalculé (Ferme)
Processeur	GA102	GA102	TU102
Nombre de cœurs	10 496	10 752	4 352
Mémoire GPU (Gb)	24 (GddR6)	48 (GddR6)	11 (GddR6)
Consommation (W)	350	300	250

Tableau 1 : Comparatif des caractéristiques des cartes graphiques utilisées dans les deux cas

# Comparaison d'indicateurs et Conclusion

---

- Le pipeline en temps réel permet donc bel et bien d'avoir un impact bien inférieur à un pipeline en précalculé en termes de mobilisation de machines et de temps de rendu (250 fois moins de temps de rendu).
- Ces données sont à traiter avec prudence, étant basées sur un pipeline hypothétique et n'incluant pas les différences de typologie de machines et leurs caractéristiques propres.

STUDIO	Temps Réel	Précalculé
kgCO2eq / personne / jour	0,63	3,23
kgCO2eq / m2 / an	52	267

Tableau 1 : Comparatif des indicateurs à l'échelle du studio

PRODUCTION	Temps Réel	Précalculé
kgCO2eq / épisode	150,2	1 003,1
kgCO2eq / minute	14,3	95,5

Tableau 2 : Comparatif des indicateurs à l'échelle de la production