

Soutenance DI05

Réchauffe ton marathonien



Catrou Elyane, François Jordan, Leducq Emma, Magnier Eliott, Savovic Paul-Alexis

DECATHLON

1

Dans le cadre de l'UV DI05, nous avons choisi d'intituler notre projet **"Réchauffe ton marathonien"** car il explicite notre objectif et évoque le sujet de notre analyse. Le but est de trouver un moyen de réchauffer le marathonien dans le SAS de départ avant le début de sa course. Il s'agit en effet d'un problème actuel aujourd'hui résolu à l'aide d'un moyen rudimentaire : l'usage de sacs-poubelle.

Nous représenterons ici un bureau d'étude indépendant qui répond à un appel d'offre pour l'entreprise Décathlon. Décathlon nous permet d'avoir un champ d'action plus large au niveau de la possibilité des solutions permettant de réchauffer le marathonien en allant des infrastructures au simple textile.

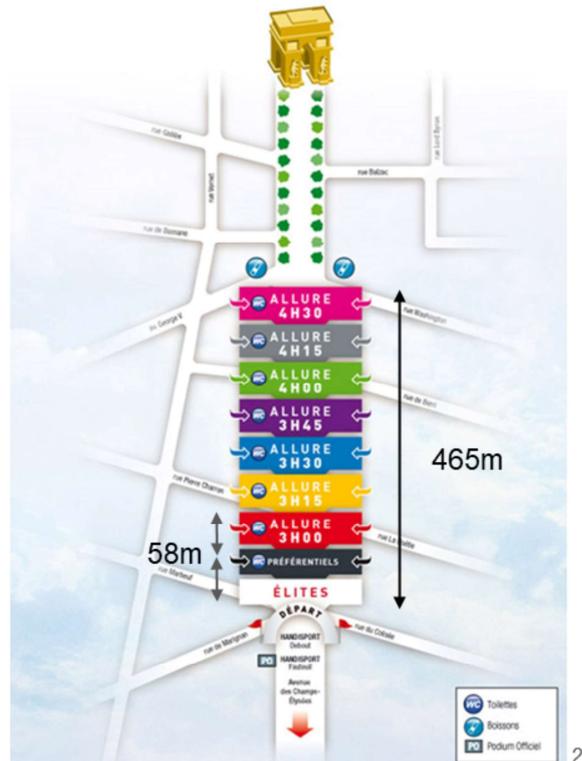
Mais pourquoi cette étude ?



35 000 à
60 000
personnes

6 à 15
degrés

25 000
tonnes de CO2



En allant accompagner un membre de sa famille au **Marathon de Paris**, une course à pied de **42,195 km**, une personne de notre groupe s'est rendue compte que tous les coureurs portaient un **sac poubelle** ou un **poncho en plastique** afin de conserver un minimum de chaleur corporelle au moment de se rendre dans le SAS de départ. Il est tôt et il fait froid, les coureurs s'échauffent rapidement sur les trottoirs avant de finalement se décider à attendre en position statique dans le SAS. On peut aussi sentir une odeur d'**arnica** car certains s'en tartinent les membres pour avoir une sensation d'échauffement de leurs muscles. D'autres ont fait le choix de garder leur veste mais le constat est le même : **les vestes sont abandonnées** au même titre que les sacs et les ponchos sont jetés sur le trottoir au niveau de la ligne de départ. Il existe des vestiaires mais ils ne sont pas à portée de main une fois que le coureur est entré dans le SAS et ne voulant ni être encombré ni avoir chaud lors de la course on peut donc constater un gaspillage sidérant !

Le Marathon de Paris fait partie de la trentaine de grands marathons qui sont réalisés dans le monde avec en moyenne **35 000 à 60 000 coureurs**. Il est à noter qu'en moyenne 36% des participants courent leur premier marathon et ignorent sûrement le fonctionnement de la course en termes de logistique. Chacun des participant achète son dossard au prix de 70€ à 250€ soit en moyenne à 120€. L'événement a un chiffre d'affaires de **7 millions d'euros** et des retombées économique de 60 millions d'euros, il s'agit donc d'une course de grande envergure générant de nombreuses transactions financières.

Les départs et la course sont réalisés sur l'ensemble de la **matinée** et on observe des écarts de températures allant de **6 à 15 degrés**. Il fait donc froid au départ de la course. On trouve sur le parcours de nombreux ravitaillements et on observe environ **280 bacs**

de collecte de déchets alimentaires, aussi, Vitel étant un sponsor important, on se retrouve avec **590 bacs** de collecte de bouteilles en plastique.

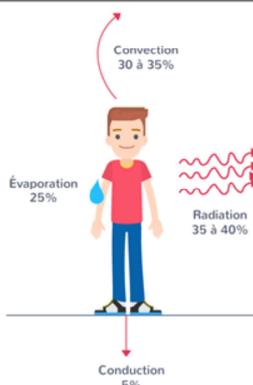
Le bilan carbone du marathon de Paris en 2018 a été évalué à **25 000 tonnes de CO2**.

Au vu du nombre de coureurs il est impossible de tous les faire partir en même temps, alors, lors du départ les coureurs doivent se réunir dans le SAS de départ défini par vagues sur les Champs Elysées en fonction du temps estimé de leur course (les plus rapides partent avant). Le temps moyen de l'effort est de **4h15**. Les départs sont généralement échelonnés entre 8h et 12h, ce qui signifie que de nombreux coureurs vont devoir attendre en étant immobiles et dans le froid. En théorie le temps d'attente dans les SAS est de **30 min** (*source site de Schneider Marathon sur le temps d'attente estimé*) mais en réalité il suffit de regarder les photos prises sur les Champs pour se rendre compte que le temps d'attente peut-être bien plus long, surtout pour les dernières vagues.

Notre corps et son rapport à la chaleur

Moyenne des températures sur les grands marathons & étude menée par le groupe Défis

- Corrélation entre température et performance
- Une **tension** apparaît : confort santé **VS** performance sportive



PRC

- Organisation du marathon
- Structure du départ
- Réutilisabilité
- Moyen de réchauffer le coureur

HPRC

- Saison automnale/hivernale
- Départ groupé
- Nombre de participants
- Non encombrement du coureur
- Lieux
- Échauffement passif

3

Attendre dans le froid augmente le **risque de claquage** et autres blessures au départ et cela peut jouer sur les performances du coureur qui se trouve dans un état initial d'inconfort. Le risque de blessure musculaire ou articulaire est réel en cas d'effort trop violent et mal préparé. Cela facilite également la possibilité de tomber malade. Le refroidissement corporel a tendance à accélérer la déshydratation, on est aussi moins efficace car les muscles sont moins irrigués et donc moins performants.

Mais, paradoxalement, sur les plus grands marathons du monde on observe qu'ils ont lieu lors des saisons **automnales ou hivernales** et en réalisant la moyenne des températures basses et hautes de ces marathons on se trouve à une moyenne de 6 à 15 °C. Aussi, grâce à une étude menée par le **groupe Défis**, on comprend qu'avoir froid est en fait le moyen idéal pour être performant, c'est même parfait de courir sous 6°C ! ([L'impact important de la température sur votre performance \(defis.ca\)](http://defis.ca))

Une **tension** apparaît alors : le coureur souhaite avoir une température corporelle agréable pour patienter dans le SAS de départ et éviter de se blesser dès le départ avec des muscles froids, il va donc avoir tendance à se couvrir **VS** il participe à un marathon en saison automnale/hivernale car il s'agit des températures idéales pour réaliser un marathon et être performant.

On a donc un antagonisme entre privilégier son confort et sa santé en ayant **chaud VS** privilégier ses performances sportives en ayant **froid**. Il faut donc trouver une voie d'équilibre qui permet à la fois de réchauffer le coureur lors de l'attente dans le SAS et à la fois le laisser profiter des bienfaits du froid sur la performance de sa course.

Il est à noter que la **perte de chaleur corporelle** se fait en majorité par radiation : 35 à 40% et par convection, par la tête : 30 à 35%. L'évaporation par la transpiration

représente 25%. Alors que la conduction, par le sol ne représente que 5%.

Pour cette étude on décide de cibler les coureurs **expérimentés et inexpérimentés** car la moyenne d'âge des participants est de **40 ans** il s'agit donc d'une cible prête à investir pour leur passion. On exclut les coureurs professionnels type élites car on estime qu'ils possèdent tout un staff leur permettant de gérer leur température corporelle à leur guise, aussi, ils partent en premier donc ils attendent très peu de temps.

Il est à présent temps de cadrer notre étude. On décide de mettre en **HPRC** la saison, le fait que le départ soit groupé, le nombre de participants au marathon, le fait que le coureur ne doit pas être encombré lors de son effort. On y ajoute également le lieu, on choisit en effet de ne pas le changer, on écarte par exemple la possibilité de commencer dans un musée qui possède du chauffage pour garder l'aspect traditionnel du lieu mythique que sont les Champs Elysées.

Enfin ne recherchera pas de solutions en rapport avec l'échauffement **actif** car considéré par la plupart des coureurs comme une perte d'énergies et finalement peu utile pour le rythme de course d'un marathon (effort léger mais dans la durée donc similaire et suffisant par rapport un échauffement actif). Certains coureurs effectuent ce type d'échauffement mais que très brièvement et seulement quelques minutes avant le départ mais ne peuvent pas se permettre de le pratiquer durant toute l'attente. Cet échauffement consiste à réaliser une série d'exercices physiques permettant d'augmenter progressivement l'activité cardiaque afin d'apporter aux muscles sollicités le carburant dont ils ont besoin et favorise l'ouverture des capillaires (petits vaisseaux sanguins qui vont alimenter les cellules musculaires), on parle de vasodilatation.

On décide de se concentrer sur un effort **passif** qui est réalisé sans activité physique, il utilise des moyens externes pour élever partiellement la température locale des muscles. Parmi ces méthodes externes, on retrouve par exemple l'utilisation d'une crème de préparation à l'effort chauffante, les ondes (ultrasons, infrarouge), l'exposition au soleil, le port de vêtements chauds...

En **PRC** on s'autorise à modifier l'organisation du marathon (niveau logistique), la structure du départ, le fait que la solution soit réutilisable et on s'autorise évidemment à trouver un moyen de réchauffer le coureur (autre que le sac poubelle).

Comment réchauffer ?

Benchmark

On a finalement 2 voies existantes qui s'offrent à nous :

Maintenir la température corporelle

- Sac poubelle
- Poncho
- Vestes que l'on abandonne ou collectées via des bacs
- Couverture de survie
- Manchettes fines
- Bac de récupération

Chauffer l'espace ou la personne

- Arnica
- Animations
- Attroupeement de personnes (chaleur humaine)

→ Facilité de mise en oeuvre, polluant, encombrant, coûteux

On a finalement deux choix qui s'offrent à nous : ou on **maintient** la température corporelle du coureur ou on **chauffe** l'espace qui l'entoure pour augmenter sa température corporelle.

On a réalisé un **benchmark** en séparant les solutions existantes dans ces deux catégories. La majorité de ces solutions sont plutôt simples à mettre en oeuvre, sont plus ou moins coûteuses et sont malheureusement pour la plupart polluantes et encombrantes.

Viabilité d'une solution

ACPB

Logistique

Nombre de participants

Encombrement

Température

Par quel(s) moyen(s) pouvons nous réchauffer le marathonien dans le SAS de départ ?

Critères de choix des solutions :

- Faisabilité logistique
- Limiter l'impact environnemental
- Confort du coureur dans le SAS (chaleur)
- Performance du coureur lors de la course (non encombrement)



Solution idéalement à **court terme et adaptable** : mettre en place la solution pour la prochaine saison et dans d'autres marathons

Panel de solutions

5

Afin de cibler notre problème nous avons réalisé une **ACPB**. Nous avons mis en lumière **quatre problèmes majeurs**. Premièrement il s'agit de la **logistique**, en effet, il faut penser que cet événement est éphémère, il a aussi lieu sur une route très fréquentée et ne peut donc pas se permettre de bloquer les lieux plus d'une journée (montage et démontage compris). Aussi, l'événement accueille un **nombre** très important de participants venant du monde entier, ce chiffre est à prendre en compte dans la mise en place de notre solution. Le coureur doit être libre de ses mouvements et doit être le plus léger possible, on ne souhaite pas qu'il soit **encombré** d'un élément qui lui sera inutile lors de son effort. Enfin la température est un élément à ne pas négliger comme précisé plus tôt car il fera forcément froid lors de la saison des marathons. L'objectif est également de limiter le bilan carbone déjà élevé du marathon.

On arrive donc à formuler la problématique suivante :

Par quel(s) moyen(s) pouvons nous réchauffer le marathonien dans le SAS de départ ?

- > sans l'encombrer pour le reste de la course
- > en limitant la pollution
- > en prenant en compte la faisabilité au niveau de la logistique

Pour la suite de cette étude, nous allons commencer à aborder de potentielles solutions et il devient donc essentiel de disposer de critères de choix pour valider ou rejeter les propositions de solutions.

On s'intéresse donc aux critères suivants :

- **Faisabilité logistique** : l'équipe organisatrice du marathon est elle en mesure de mettre en place la solution en une nuit de préparation?. De même pour le démontage des infrastructures du marathon.

- On tâchera aussi de **limiter le gaspillage** et l'impact environnemental de notre solution. On rappelle que c'est l'observation du gaspillage qui nous a mené à ce projet!
- La solution doit apporter du **confort thermique** au coureur dans le sas de départ
- La solution doit placer le coureur dans des conditions permettant de garantir la meilleure **performance** possible lors de la course : liberté de mouvement, température extérieure froide, ne pas contraindre son trajet, etc.

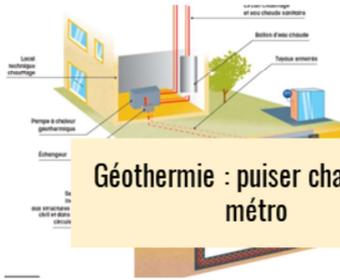
La situation doit idéalement être réalisable à court terme et adaptable afin de pouvoir la mettre en place dès la prochaine saison et pour d'autres marathons que celui de Paris. On peut à présent établir un panel de solutions qui s'offrent à nous. Pour plus de clarté nous allons les dissocier en deux catégories : les solutions qui chauffent directement les coureurs et les solutions qui s'appuient uniquement sur la conservation de leur chaleur corporelle.

Les solutions pour chauffer la personne ou l'espace

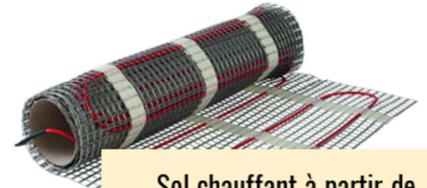
➤ Infrastructurelles



Chauffages radiants électriques infrarouges répartis dans le SAS



Géothermie : puiser chaleur du métro



Sol chauffant à partir de l'énergie solaire

➤ Individuelles



Veste chauffante et peu encombrante

On commence par s'intéresser aux solutions consistant à apporter une source de chaleur externe au coureur pour le réchauffer. On peut les dissocier en deux catégories :

- Les infrastructures et dispositifs collectifs. on y retrouve les chauffages d'extérieur que l'on trouve typiquement sur les terrasses de restaurants, ainsi que d'autres dispositifs tels que des sols chauffants dont la source d'énergie peut être variée : électrique, solaire, géothermique
- les dispositifs individuels : veste chauffante, chaufferette chimique jetable

Lampes radiantes électriques :

Son avantage est le chauffage par rayonnement infrarouge et non par flux d'air chaud, ce qui le rends efficace même dans un milieu extérieur soumis au vent ou dans lequel l'air froid est présent en grande quantité. On l'utilise souvent pour chauffer des grands locaux ouverts ou encore des tribunes de stades en hiver. Il est assez économique et ne nécessite pas de gaz.

Géothermie :

Il s'agit d'un système de chauffage à air pulsé adapté pour chauffer de moyens et grands espaces **cloisonnés**. Dans notre cas il faudra soit cloisonner la zone de départ soit chauffer fortement et en continu avec un très faible rendement énergétique pour satisfaire notre besoin de confort thermique.

Sol chauffant solaire : Cette solution bien qu'intéressante peut être immédiatement réfutée car dans notre cas on ne peut pas se permettre d'investir dans un dispositif si complexe, coûteux et logistiquement exigeant si seule la mauvaise météo peut le rendre inefficace, d'autant plus que la mauvaise météo est le cas de figure où les coureurs auraient le plus besoin de se réchauffer et également la configuration ou le dispositif de

chauffage solaire serait le moins efficace.

Veste chauffante : patchs électriques chauffants aux endroits stratégiques du buste. il serait possible de concevoir une veste plus fine et légère qu'un vêtement technique conventionnel car le besoin d'isolation thermique diminue. La problématique d'encombrement lors de la course reste existante et on peut aussi se poser la question de la pertinence d'un tel produit qui peut s'avérer coûteux et prévu pour un usage spécifique et donc peu polyvalent pour d'autres utilisations (potentiel échec commercial).

Les solutions qui maintiennent la chaleur corporelle

➤ Infrastructurelles



Installation de tentes, barnum



Installation de paravents en plexiglass



Toile coupe-vent au lieu des barrières latérales du SAS

➤ Individuelles



Couverture de survie (façon veste pliable réutilisable)



Interdiction des ponchos et sacs-poubelle non homologués



Achat d'un vêtement technique

On s'intéresse maintenant aux dispositifs qui vont permettre de conserver la chaleur déjà fournie par le corps des coureurs. On y retrouve des solutions infrastructurelles telles que l'installation de tentes barnums et autres cloisons (plexiglass, toiles coupe vent) qui seront destinées à protéger les coureurs du vent et des intempéries mais aussi de confiner la masse d'air chaude engendrée par leur rayonnement thermique corporel.

Du côté des solutions passives individuelles, on retrouve le vêtement sous ses différentes formes : vêtement technique à rangement compact, couverture de survie, poncho plastique, etc. On gardera en tête la volonté de réduire le gaspillage, il faudra donc faire preuve de subtilité si l'on souhaite opter pour des solutions type poncho plastique/couverture de survie afin de trouver des filières de recyclage et de réutilisation.

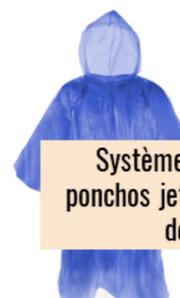
Solutions hybrides



Prêt de veste consignée payante laissée dans un bac au départ/pendant la course



Vêtement individuel pucé (rfid) & dispositif de tri/localisation automatique pour le retrouver après la course.



Système d'upcycling des ponchos jetables pour en faire des goodies



Bâche au dessus des coureur qu'ils doivent tenir



Prêt de couverture à rendre sur la ligne : permet de cadencer le départ



Choix de son SAS :
-Un SAS avec animations où l'on s'échauffe
-Un SAS barnum où on conserve la chaleur

On remarque que parmi les propositions précédentes, il existe beaucoup de possibilités de choix hybrides qui consistent en la **combinaison** de plusieurs solutions. Voici quelques solutions hybrides pertinentes qui peuvent mélanger un dispositif individuel et une infrastructure ou encore un dispositif qui chauffe ou qui conserve la chaleur.

Il s'agit ici des compromis les plus pertinents que nous avons trouvé selon le respect des critères de choix définis dans la slide 5.

Proposition de 3 types de solutions :

- 1) Solution accessible à court terme
- 2) Solution à moyen terme
- 3) Solution qui fait rêver (long terme)

Nous allons maintenant détailler plusieurs propositions de solutions selon trois approches différentes :

- Une solution accessible à court terme et logistiquement simple, mais qui solutionne quand même correctement le problème.
- Une solution à moyen terme qui peut être plus ambitieuse et/ou constituer un investissement plus important.
- Une solution à long terme et futuriste (qui fait rêver).

L'objectif est ici d'évaluer la viabilité de chaque solution tout en pesant les avantages et inconvénients existants.

1) Solution accessible et à court terme

Vestes consignées

Prêt de différents types de vestes consignées et payantes

- + Le coureur maintient sa température corporelle
- + Économique et plus soucieux pour l'environnement
- + Sponsorisation des vestes
- + Logistique simple : reprendre le système de bac de recyclage déjà mis en place
- Achat d'environ 30 000 vestes
- Investissement à la première année
- Stockage et entretien des vestes pendant le reste de l'année



10

Une solution accessible et à court terme serait un prêt de vestes consignée. En effet il serait simple d'implanter ce type de solution car actuellement des bacs de recyclage sont déjà proposés lors des marathons de Paris précédents. Reprendre ces bacs de recyclage afin d'en faire des dépôts de vestes consignées serait alors peu compliqué au niveau de la logistique.

La veste consignée serait alors prêtée au coureur avant la course, il reviendra à lui même de jeter la veste dans les bacs de récupération avant ou après le début de la course. Ces bacs de dépôts de consigne seraient alors placés à plusieurs endroits. Quelques uns seraient placés dans le SAS de départ, les autres seraient placés progressivement sur le premier kilometre après le départ.

Si l'on souhaite utiliser des cautions afin de s'assurer que le coureur rende bien sa veste le plus simple serait d'implanter chaque veste d'une micropuce qui serait reliée au compte du coureur. La caution serait utilisée seulement lorsque le coureur ne rend pas sa veste.

Il est aussi possible de proposer ce service à un certain prix à chaque coureur. Par exemple : le coût d'un emprunt de veste coûterait 2 euros à chaque coureur avant le début de la course. Cela permettrait de rembourser certaines vestes perdues.

Nous avons donc pu définir des points positifs et des points négatifs

Les points positifs de cette solution sont :

- Le coureur maintient sa température corporelle
- Économique et plus soucieux pour l'environnement
- Sponsorisation des vestes
- Logistique simple : reprendre le système de bac de recyclage déjà mis en place

A l'inverse les points négatifs sont :

- Achat d'environ 30 000 vestes
- Investissement à la première année
- Stockage et entretien des vestes pendant le reste de l'année

1) Solution accessible et à court terme

Vestes consignées

Prêt de différents types de vestes consignées et payantes

→ Choix de la veste

A) Veste de running



- + Veste de bonne qualité
- + Bonne protection au froid
- Coûts élevés
- Problème de stockage
- Empreinte carbone "C"

B) Veste pliable



- + Stockage
- + Poids léger (0,175g)
- + Coûts faibles
- + Empreinte carbone "A"
- Moins de protection au froid

C) Veste couverture de survie



- + Stockage
- + Poids léger (0,167g)
- + Empreinte carbone faible
- + Bonne protection au froid
- La conception est à faire

Maintenant que cette solution a été présentée, il s'agit de choisir la veste qui s'adapterait le mieux à notre solution. Nous avons donc étudié 3 types de vestes différentes ayant chacune ses caractéristiques, ses dimensions et étant composées de matériaux différents. Le prix a aussi été une donnée que nous avons voulu prendre en compte. La première veste est une **veste de running** proposée par Décathlon sur son site internet.

Les points positifs et négatifs de cette veste sont :

- + Veste de bonne qualité
- + Bonne protection au froid
- Coûts élevés
- Problème de stockage
- Empreinte carbone "C"

Les données techniques de cette veste seront présentées dans la diapositive suivante.

La deuxième veste est une **veste pliable de Quechua**. Cette veste est aussi proposée sur le site de Décathlon. Nous avons pensé à cette veste lorsque le problème du stockage est apparu.

Les points positifs et négatifs de cette veste sont :

- + Stockage
- + Poids léger
- + Coûts faibles
- + Empreinte carbone "A"

- Moins de protection au froid

La dernière veste est une veste qui **demande encore à être conçue**. Cette veste serait conçue à partir d'une couverture de survie.

Les points positifs et négatifs de cette veste sont :

- + Stockage
- + Poids léger
- + Empreinte carbone faible
- + Bonne protection au froid

- La conception est à faire

1) Solution accessible et à court terme

Vestes consignées

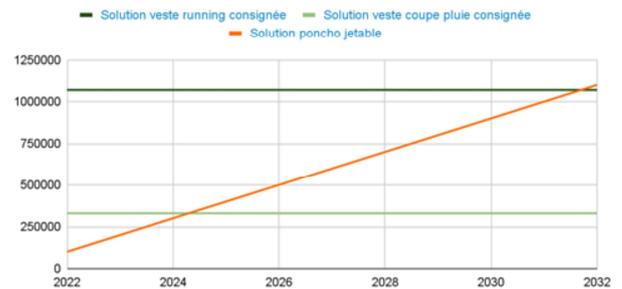
Prêt de différents types de vestes consignées et payantes



DECATHLON



Comparaison bilan carbone : Solution consignée / Solution poncho jetable



Produits	Matériaux	Empreinte carbone (kgCO2/CO2eq)	Entreprise	Prix	Poids (kg)
Poncho de pluie adulte	Éthylène-acétate de vinyle	2,86	Decathlon	6,00 €	0,290
Veste running	Polyester Polyuréthane	30,6	Decathlon	60,00 €	0,5
Coupe pluie Quechua	Enduction Polyuréthane Polyamide	9,43	Decathlon	8,00 €	0,175
Couverture de survie	Polyéthylène	0,4	Decathlon	7,00 €	0,167

*calculé avec le poids (0,167kg), le matériau (PE) et les données de l'ADEME

12

Une fois que les caractéristiques des vestes ont été déterminées il a fallu comparer chaque veste. Nous les avons comparées au niveau du prix, du poids et de l'empreinte carbone.

Empreinte carbone

Du point de vue de l'empreinte carbone, la veste running est la moins intéressante. En effet le coût de production de cette veste est de 30.6 kCo2. Si l'on compare à la solution actuelle c'est à dire le cas où le coureur achète et jette un poncho de pluie à chaque course, la solution de veste de running atteint un meilleur impact carbone au bout de 10 ans.

C'est pourquoi la solution de veste coupe pluie Quechua est plus intéressante. Avec un coût de 9.43kCo2 la veste a un meilleur impact carbone au bout de seulement deux années.

Pour la veste couverture de survie, son empreinte carbone n'est pas disponible. Mais nous l'avons approximée à 0.4kCo2. Cependant cela correspond seulement au matériau, le process ne peut pas être pris en compte pour le moment. Mais cela semble être une solution viable de par cette première approximation. Ces données ont été trouvées sur le site de Decathlon ou alors ont été calculées à l'aide de la base carbone de l'ADEME.

Coûts :

Pour le coût les solutions les plus avantageuses sont les vestes coupes pluies de Quechua et la veste couverture de survie. Le coût de la veste Quechua est de 8 euros. Pour ce qui est le coût d'une couverture de survie on peut en trouver autour de 7 euros. Le coût de la veste n'est pas défini pour le moment mais on l'estime plutôt bas. Pour ce qui est de la veste de Running il est à 60 euros. Ce qui fait pour 30000 coureurs un

investissement de 2 100 000 euro pour la première année. A l'inverse l'investissement pour la veste coupe pluie est de 280 000 euros soit 10 fois moins.

Poids :

Comparer le poids des vestes est important au niveau de la logistique. En effet, les vestes devront être transporté avant et après chaque marathon. Le transport peut devenir coûteux du point de vue Bilan Carbone mais aussi du prix. C'est pourquoi la solution de la veste coupe pluie nous paraît à l'heure actuelle la plus intéressante. En effet la veste pèse 0,175 gramme comparé à la veste running qui pèse 0,5 gramme. Pour ce qui est de la couverture de survie, l'objet est connu pour son poids léger. De même une couverture de survie proposé par Decathlon pèse 0,167 gramme ce qui équivaut à la veste Coupe pluie Quechua.

Pour conclure, le succès de cette solution dépend des caractéristiques de la veste consignée. On a vu après cette comparaison qu'une veste consigné type running de Decathlon est une veste qui ne pourrait pas être implanté dans notre solution du fait de ses caractéristiques. Son Bilan carbone, son coût et sont poids sont trop importants. A l'inverse une solution type veste coupe pluie Quechua ou veste couverture de survie semble plus accessible. Leurs coûts et poids faibles, et leurs bilans carbones correspondent à notre utilisation. Cependant la veste couverture de survie n'est pas encore conçu, c'est pourquoi cette solution est moins à "court terme".

2) Solution à moyen terme

Lampe radiante électrique

Production de chaleur grâce au rayonnement.



Installation de lampes sur les premiers 116m

1 lampe : Puissance 3000 W pour 25m² (300 - 500€)

Rendement d'une lampe = 0,98

Donc 395 606 Wh d'apport en **énergie utile** sur 3 364m² soit **environ 135 lampes** pour couvrir les deux premiers SAS.

=> **Impact carbone:**

405 000 Wh * 0,0599 kg CO₂/kWh = **23,7 kg de CO₂.**

- + Facile à mettre en place
- + Faible impact carbone de fonctionnement
- + Réutilisable pour d'autres manifestations
- grosse quantité nécessaire
- demande un investissement important de la part du marathon

13

Présentation :

Comme le soleil, les chauffages radiants infrarouge (électriques) chauffent directement les corps, sans avoir besoin de réchauffer auparavant l'air ambiant – et ce, sans la moindre émission nuisible. La chaleur bienfaisante se fait sentir immédiatement sur la peau, sans préchauffage et sans perte d'énergie. Un mode de fonctionnement différent de la plupart des autres radiateurs électriques, qui chauffent plutôt l'air ambiant. On a donc ici une chaleur ciblée pour le bien-être. Ainsi, qu'il vente ou qu'il pleuve, cette solution conserve un bon rendement et apport de chaleur grâce aux radiations.

Dimensionnement et installation:

Les lampes les plus puissantes disponibles sur le marché font 3000 W (avec un rendement proche de 100% car radiation) et couvrent une surface d'environ 25m².

Ainsi pour couvrir les deux premiers SAS pendant une heure (116m x 29m = 3 364m²), il faut environ 135 lampes soit un apport en énergie utile de 395 606 Wh.

On pourrait installer ces lampes sur des grands trépieds le long de la route voir sur les lampadaires déjà présents. Il serait cependant plus simple de dimensionner et concevoir des lampes bien plus grandes que celles que l'on trouve actuellement sur le marché (supérieur à 3000 W) ce qui nous permettrait de couvrir de plus grandes surfaces.

Avantage :

- Ce dispositif est assez facile à mettre en oeuvre, puisqu'il s'agit seulement d'installation et non de travaux.
- Pour notre entreprise, ces lampes sont réutilisables pour ce même marathon et

- pour d'autres événements. Elles possèdent une excellente durée de vie.
- Elles demeurent un mode de chauffage assez peu impactant écologiquement à comparaison avec d'autres solutions de ce type, car elles consomment moins d'électricité que le radiateur convecteur traditionnel par exemple. A cela s'ajoute une autre économie d'énergie, puisqu'une très grande partie de l'électricité utilisée est convertie en chaleur, les pertes étant minimales. En d'autres termes, le rendement de ce type de chauffage est très élevé. Autre donnée fondamentale en matière de respect de l'environnement : les modèles infrarouges ne consomment pas de dioxygène et n'émettent pas le moindre dioxyde de carbone. La seule source d'émission de carbone se trouve donc dans la production d'électricité qui en France est finalement assez faible : produit 23,7 kg de CO₂ pour 1h (nucléaire : 0,06 kg de CO₂ par kWh donc 405 000 Wh*0,06), mais sans tenir compte de la fabrication, transport etc. Cependant il est à noter que dans d'autres pays l'impact CO₂ dû à l'électricité est facilement 10x supérieur.

Inconvénients :

- Nécessite une importante consommation électrique donc coût d'électricité.
- Ce dispositif demande un important investissement de base. Deux solutions sont possibles pour le marathon : acheter les lampes et les réutiliser tous les ans ou les louer.

2) Solution à moyen terme

Barnum qui conserve la chaleur des coureurs: *Et si... on s'auto-réchauffait ?*

En théorie: **Chaque coureur dégage de la chaleur sous deux formes:**

	Chaleur sensible	Chaleur latente
Une personne au repos	83 W	3 W
Un coureur dans le sas	115 W	10 W



Estimation théorique de chaleur récupérable dans un sas de marathon

$$A_{\text{occupant}} = (P_{\text{chaleur_sensible}} + A_{\text{chaleur_latente}}) \rightarrow A_{\text{occupant}} = (115 + 10) = 125 \text{ W/coureur}$$

Effectif réparti sur 2 Sas: **600 coureurs**

$$\rightarrow \text{Chaleur}_{\text{récupérée}} = 125 \text{ W/coureur} * 600 \text{ coureur} = 75 \text{ kW sur les deux premiers sas de départ}$$

14

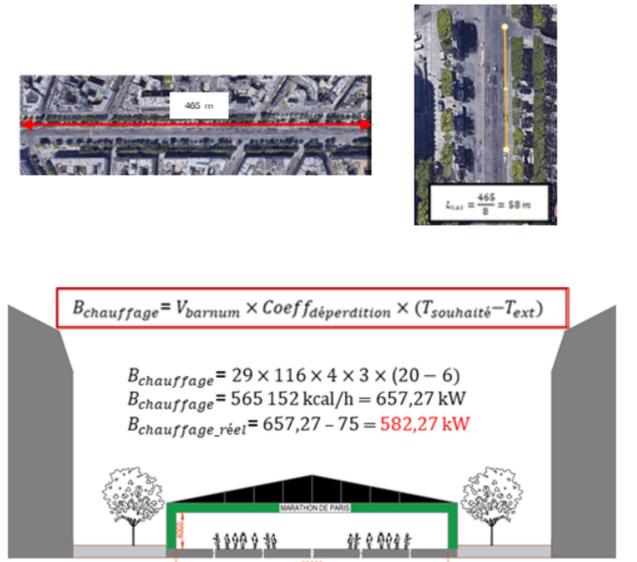
Présentation:

Dans les solutions à **moyen terme** nécessitant un investissement, nous avons retenu la solution du barnum chauffé. L'idée est de récupérer la chaleur produite par les coureurs afin d'augmenter leur sensation de **confort**. Une personne dégage non seulement de la chaleur sensible, c'est-à-dire de la chaleur produite par convection et rayonnement comme nous l'avons vu précédemment. De la chaleur latente est également produite sous forme de vapeur d'eau lorsque qu'on parle. Une fois ce constat effectué, nous pouvons estimer de façon approximative l'apport en chaleur des coureurs au repos dans le sas. Nous prenons en compte l'effectif de 2 sas de départ, soit 600 coureurs afin d'avoir un sas de marge en fonction des retards pris sur le début de la course. Etant donné le manque d'information au niveau organisationnel, nous avons estimé de manière approximative les effectifs des sas de départ afin d'avoir une idée de la viabilité de la solution. Finalement, avec la puissance dégagée/coureur, le temps d'attente dans le sas et le nombre de coureur, nous aboutissons à une estimation de chaleur récupérable d'environ 75 kW sur l'ensemble du barnum.

2) Solution à moyen terme

Barnum qui conserve la chaleur des coureurs: *Et si... on s'auto-réchauffait ?*

Dimensionnement et besoin en chaleur sur 2 sas de départ:



Conclusion:

- Besoin en chauffage important
- Apport de chaleur des coureurs négligeables
- Bonne conservation de la chaleur par convection
- Faible coût énergétique.

15

Présentation :

Maintenant que les apports en chaleur des coureurs ont été définis, il est possible de calculer le besoin énergétique du barnum en fonction de cet apport. Le besoin en chauffage est caractérisé par le volume du barnum et une température de consigne qui est considéré comme confortable pour les coureurs. Cette température a été fixée à 20°C d'après l'état de l'art réalisé en amont de l'étude. La seule production de chaleur du corps humain n'étant pas suffisante, nous pouvons imaginer une production complémentaire avec l'installation de 100 lampes radiantes d'une valeur de 3000 W chacune.

Enfin, l'avantage d'avoir installer le barnum est qu'il puisse conserver la chaleur des coureurs sur 2 sas pendant la période avant le départ.

Dimensionnement & calcul :

Le barnum a été conçu en fonction des dimensions de 2 sas de départ, soit une longueur de 116 m et une largeur d'environ 30 mètres.

En prenant en compte un coefficient de déperdition équivalent à 3 et une température souhaitée à 20°C nous pouvons estimer les besoins en chauffage du barnum. Pour avoir le besoin définitif, nous soustrayons l'apport des coureurs à ce besoin initial et nous obtenons un besoin total d'une valeur de 582,27 kW.

Avantages:

Bien que l'apport en chaleur des coureurs soit négligeable, le barnum reste intéressant pour conserver la chaleur par convection et limiter les déperditions dues au vent. Enfin, le côté infrastructurel du barnum limite au mieux l'impact carbone comparé à d'autres solutions nécessitant un apport énergétique.

Inconvénients :

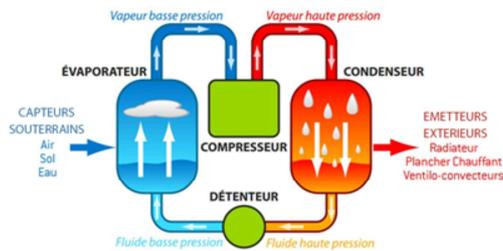
Installer un barnum avec les dimensions propres à un marathon demande un besoin en chauffage important.

Aussi, l'installation du barnum en tant que tel et des 135 lampes peut représenter un défi logistique au niveau du montage et démontage.

3) Solution qui fait rêver (long terme)

Géothermie métro

Utilisation de l'air chaud souterrain : soufflerie



- A mettre en place lors de gros travaux
- €€€
- + Système pour récupérer la chaleur et chauffer
- + Refroidir/aérer le métro
- + Utile même hors marathon (en hiver, chauffer des bâtiments, etc.)
- + Faible bilan carbone de fonctionnement

Pour le marathon : relier différents systèmes de diffusion de chaleur : soufflerie, sol chauffant, radiateur...

Hors marathon : chauffage eau/bâtiments, rafraîchissement en été, soufflerie dans les rues piétonnes...

Présentation :

Nous allons à présent vous présenter une solution "**qui fait rêver**", une solution idéale et utile sur le long terme (pas uniquement pour le marathon) mais qui serait plus difficile et coûteuse à mettre en place.

Il s'agit de l'utilisation de l'énergie (calories) présent en souterrain, appelée **géothermie**.

1. Il s'agit d'un circuit de tuyaux installé sous terre (dans les parois du métro pour notre cas) où un fluide frigorigène circule, il est amené de l'état liquide à l'état gazeux dans un composant appelé l'**évaporateur** permettant de récupérer la chaleur du sol. Ici, en plus de la chaleur et de l'isolation obtenue grâce au sol, les frottements, les mécanismes et les mouvements du métro dans les tunnels créent beaucoup de chaleur.
2. Le **compresseur** aspire le fluide frigorigène devenu gaz au cours de l'évaporation et le comprime (augmentation de la pression) afin d'élever sa température. On obtient un gaz chaud à pression élevée qui est alors dirigé vers le condenseur.
3. Le **condenseur** est le second échangeur thermique du système. Son rôle est de restituer les calories puisées. S'y croisent le gaz chaud sorti du compresseur et le réseau contenant le fluide à réchauffer (eau du réseau de chauffage ou air). A ce stade, le gaz va transférer ses calories au fluide. Le fluide devient chaud et circule jusqu'aux diffuseurs de chaleur de la maison tandis que le gaz, refroidi, retourne à l'état liquide : il condense.
4. Enfin, le fluide frigorigène traverse le **détendeur** thermostatique et se retrouve à

l'état initial en basse pression et basse température avant de retourner dans l'évaporateur

Une fois la chaleur du sous sol captée et transformée grâce au système, il suffit de diffuser cette chaleur à la surface. Pour le marathon, cela peut se faire via des souffleries mobiles installées pour l'événement ou par des grilles présentes sur la voie de départ (comme il existe déjà sur certain trottoir en sorti de métro). On peut aussi coupler cette solution avec d'autres dispositifs comme un sol chauffant, des radiateurs, etc.

De plus, cette énergie peut aussi être utilisée le restant de l'année pour produire de l'électricité, chauffer des bâtiments adjacents, l'eau de la ville, etc.

Avantage :

- Rendement et environnement :
 - les pompes à chaleur géothermiques ont des coefficients de performance (dit "COP") estimés à 4 en moyenne, c'est à dire que 1 kWh électrique consommé pour faire fonctionner la pompe à chaleur permet de générer 4 kWh de chaleur dont 3 d'origine renouvelable (chaleur extraite du sous-sol).
 - La pompe à chaleur utilise l'énergie de la Terre (énergie Tellurique), la géothermie, qui est une énergie renouvelable. Le chauffage par pompe à chaleur (PAC) géothermique permet donc de réduire les dépenses d'énergies fossiles, et donc de préserver les ressources de la planète.
 - En plus des économies d'énergie, la géothermie permet également de réduire son empreinte carbone. La pompe à chaleur consomme de l'électricité, donc elle contribue aux émissions de CO2, mais grâce à l'énergie gratuite puisée dans le sol, à son bon rendement, et son utilisation diversifiée, ses émissions sont inférieures à la plupart des autres systèmes.

- Le système permet une grande diversité d'utilisation :
 - Réchauffer les marathoniens grâce à la chaleur du métro
 - Hors marathon, chauffer des bâtiments, de l'eau, des rues piétonnes...
 - Refroidir/aérer le métro
 - Et utilisation inverse l'été : rafraîchir à la surface (clim)

Inconvénients:

- Cette solution est très difficile à mettre en place car elle est coûteuse et nécessite d'importants travaux (modifications des stations de métro à envisager lors de travaux de création de nouvelles stations/lignes par exemple)
- Systèmes et travaux très coûteux

Autre idée : Même système de récupération mais pour de la chaleur des data centers ou centres de serveurs (qui augmentent de façon exponentielle)

3) Solution qui fait rêver (long terme)

Startup britannique

Pavés connectés qui produisent de l'énergie grâce à la pression des pas



- A mettre en place lors de travaux sur les Champs Elysées
- €€€€
- Maintenance tous les 5 ans
- + Système pour récupérer l'énergie
- + Rentable
- + Réutilisable pour d'autres manifestations

À chaque pas, la tuile s'enfoncé légèrement, ce qui entraîne une rotation du générateur électromagnétique : production de 2 à 4 joules, soit 4 à 7 watts d'électricité en fonction du poids de la personne. De quoi alimenter une ampoule pendant une seconde !

17

Présentation :

Une startup britannique : Pavegen fabrique des pavés connectés qui produisent de l'énergie grâce à la pression des pas qu'exercent les piétons. Cette technologie permet de produire de l'énergie et multipliée par le nombre de pas et de personnes on pourrait facilement imaginer un système récupérant cette énergie pour chauffer les coureurs en alimentant des lampes radiantes électriques ou des souffleurs d'air chaud ou encore des parois chauffantes.

Cet usage pourrait être multiple et servir lors de plusieurs occasions notamment dans son usage quotidien pour alimenter en énergie les équipements urbains (lampadaires, etc) ou bâtiments voisins.

Avantages :

- Ce système permet de récupérer l'énergie donc aucune émission de CO2
- C'est très rentable car on peut facilement en installer (rue, route...)
- La production d'électricité permet d'alimenter diverses installations (coupler cette solution à d'autres dispositifs)

Inconvénients :

- Cela demande un très gros investissement (**100€ la dalle + travaux (1 dalle = 50x50cm)**)
- Cela nécessite des travaux sur les Champs Elysées donc tout un plan de validation avec la ville de Paris et des travaux à mettre en place et à réaliser rapidement car c'est une avenue qui possède une grande affluence.
- Maintenance tous les 5 ans

Conclusion

- Le marathon de Paris
 - Mise en lumière d'une tension et cadre de notre étude
 - Constat de l'existant et définition de notre problème
 - Viabilité d'une solution ?
-
- Conserver la chaleur ou chauffer
-
- Court terme : La veste consignée
 - Moyen terme : Lampes et barnum
 - Long terme : Récupération d'une énergie (géothermie, poids des pas) à coupler avec d'autres dispositifs

Méthode :

Analyse

Problème

Invention

Au cours de cette étude nous avons donc pu comprendre dans quel contexte s'organise le marathon de Paris afin de mettre en lumière un constat de **gaspillage** sidérant ! Sacs-poubelle, ponchos et autres vestes lâchement abandonnés au bord de la route.

Nous avons par la suite pu apporter des connaissances et analyser le sujet en relevant une **tension** entre confort et santé **VS** performance sportive. Afin de cadrer notre étude nous avons défini les éléments à ne pas modifier lors de la mise en place de nos solutions.

Enfin nous avons pu apporter des solutions basées sur des critères de **viabilité** et de **faisabilité** en termes de contrainte de logistique, d'environnement, de confort et de performance.

Ces solutions sont possibles pour certaines à **court** terme mais pour d'autres à **moyen** voire **long** terme.