



(11) **EP 4 112 878 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
04.01.2023 Bulletin 2023/01

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
E21F 3/00^(2006.01) F24T 10/10^(2018.01)

(21) Numéro de dépôt: **21405004.9**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
E21F 3/00; F24T 10/10

(22) Date de dépôt: **01.07.2021**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

• **Bourget, Andrew**
1805 Jongny (CH)

(74) Mandataire: **Grosfillier, Philippe**
André Roland SA
P.O Box 352
1000 Lausanne 22 (CH)

(71) Demandeur: **ECCUS SA**
1805 Jongny (CH)

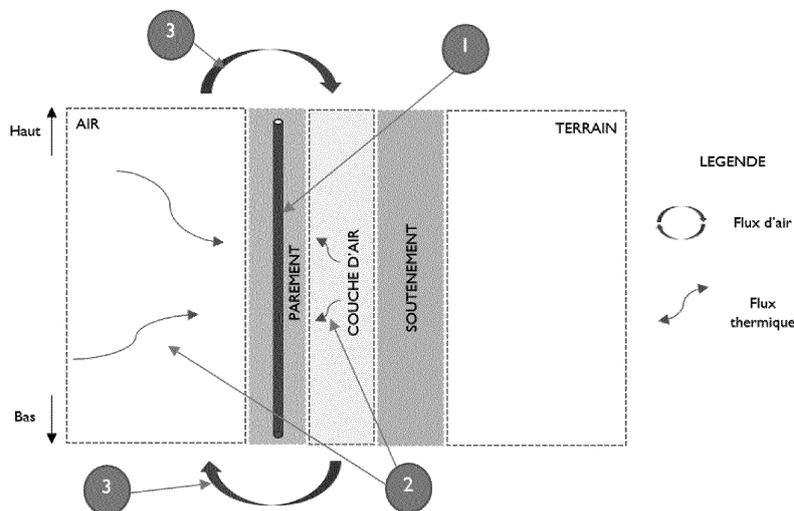
Remarques:
Revendications déposées après la date de dépôt de la demande (règle 68(4) CBE).

(72) Inventeurs:
• **Cousin, Benoît**
1003 Lausanne (CH)

(54) **ECHANGEUR AÉROTHERMIQUE À ENTRAÎNEMENT D'AIR INTÉGRÉ POUR OUVRAGES SOUTERRAINS**

(57) La valorisation de l'énergie fatale de processus technologiques (datacenters) et industriels (machines-outils) ou d'énergie (batteries) représente un défi et une opportunité dans un contexte d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique. En espaces souterrains (tunnels, puits et cavernes) l'intégration de tubes échangeurs dans les éléments constructifs des ouvrages représente une manière peu encombrante d'échanger la chaleur de l'air ambiant vers un fluide caloporteur. Dans ce contexte, la mise en place d'un élément de parement préfabriqué

faisant office d'échangeur et dissocié du soutènement de l'ouvrage permet (1) de faciliter la mise en œuvre quelle que soit la méthode constructive du tunnel ou de la caverne, (2) de capter majoritairement la chaleur fatale aérothermique indépendamment d'une éventuelle opération géothermique et (3) d'entraîner un flux d'air naturel (i.e. non forcé) dans l'espace intermédiaire afin de maximiser le captage au niveau du parement et de minimiser ainsi les besoins de ventilation mécanique à l'échelle de l'ouvrage.



EP 4 112 878 A1

Description

1 Introduction

1.1 Problème technique

[0001] La valorisation de l'énergie fatale de processus technologiques (datacenters) et industriels (machine-outils) ou d'énergie (batteries) représente un défi et une opportunité dans un contexte d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique. En espaces souterrains (tunnels, puits et cavernes) l'intégration de tubes échangeurs dans les éléments constructifs des ouvrages représente une manière peu encombrante d'échanger la chaleur de l'air ambiant vers un fluide caloporteur. Toutefois, cette intégration souffre de plusieurs inconvénients. D'une part, d'un point de vue constructif, la mise en place de ces tubes est problématique quelle que soit la méthode de creusement :

- dans le cas d'une excavation conventionnelle, le temps important et les difficultés de mise en œuvre d'une solution de captage d'énergie fatale pèsent fortement les coûts et les délais. En outre l'intégrité du tube est mise en danger lors des différentes phases d'exécution ;

- dans le cas d'une excavation mécanisée (tunnelier), la mise en œuvre d'un échangeur de chaleur requiert de prévoir des voussoirs, même dans les cas où ceci ne serait pas nécessaire d'un point de vue structurel.

[0002] D'autre part, d'un point de vue énergétique, en l'absence d'un échange convectif important (assuré par les trains, respectivement les véhicules dans les tunnels de métros, ferroviaires ou routiers), la pose de tubes échangeurs directement en contact avec le terrain ne permet pas de capter efficacement la chaleur fatale car l'échange thermique aura lieu majoritairement avec le terrain dont la conductivité est bien supérieure à celle de l'air (facteur 100).

[0003] Enfin, le dimensionnement de la ventilation est systématiquement dissocié du dimensionnement thermique, ce qui ne prend pas en compte les flux convectifs naturels induits par ces systèmes d'échangeurs de chaleur. Ce manquement entraîne une surconsommation d'énergie pour assurer la ventilation mécanique.

1.2 Solution

[0004] Pour pallier à ces limitations, la mise en place d'un élément de parement préfabriqué faisant office d'échangeur et dissocié du soutènement de l'ouvrage permet (1) de faciliter la mise en œuvre quelle que soit la méthode constructive du tunnel ou de la caverne, (2) de capter majoritairement la chaleur fatale aérothermique indépendamment d'une éventuelle opération géothermi-

que et (3) d'entraîner un flux d'air naturel (i.e. non forcé) dans l'espace intermédiaire afin de maximiser le captage au niveau du parement et de minimiser ainsi les besoins de ventilation mécanique à l'échelle de l'ouvrage.

5

2 Description de l'invention

[0005] D'un point de vue constructif, la dimension du parement préfabriqué est adaptée au gabarit de l'ouvrage souterrain. Le parement comporte des renforts pour assurer une rigidité lors du transport et faciliter la pose contre l'intrados du revêtement.

[0006] En outre, d'un point de vue énergétique, la mise en place d'un élément de parement préfabriqué et la création d'un espace d'air entre le parement et le revêtement permettent de prendre en compte les caractéristiques thermiques fortement différenciées entre l'air et la roche, et ainsi de capter essentiellement la chaleur fatale aérothermique, indépendamment d'une éventuelle opération géothermique.

[0007] L'élément de parement intègre des ouvertures en partie basse et haute afin d'assurer l'amenée et l'évacuation d'air de l'espace intermédiaire. L'air chaud émis dans la caverne entre dans l'espace intermédiaire via les ouvertures en partie haute puis circule le long de l'élément en se refroidissant au contact de ce dernier, avant d'alimenter de nouveau la caverne par les ouvertures en partie basse. L'extraction de l'énergie dans l'air s'effectue des deux côtés du parement.

[0008] La pose d'un parement appuyé contre le revêtement et la création d'un espace d'air intermédiaire permettent de créer des cheminées inclinées et d'induire une ventilation naturelle dans l'ouvrage, afin de diminuer (voire de supprimer) le recours à la ventilation mécanique nécessaire au renouvellement de l'air. Cette inclination des cheminées est réalisée à l'aide des renforts dans la partie extradados du parement, lesquels donnent un cheminement hélicoïdal à la couche d'air pour induire un mouvement d'air transversal et longitudinal dans l'espace souterrain (effet d'hélice, illustré à la Figure 2).

[0009] Le système de fixation par tige de butée permet d'ajuster la distance du parement au soutènement de l'ouvrage et garantit la tolérance de pose. Par ailleurs un rebord d'appuis permet d'assurer une mise en place facilitée.

[0010] Afin d'assurer l'étanchéité d'air entre les cheminées ainsi que la maîtrise de la conductivité thermique entre le revêtement et le parement (pontage thermique), un élément gonflable de très faible conductivité thermique est intégré aux renforts lors de la fabrication. Cet élément permet d'épouser la forme du revêtement de l'ouvrage, irrégulière, sans créer un pontage thermique entre le parement et le revêtement de l'ouvrage. Les caractéristiques thermiques et de mise sous pression de cet élément sont déterminées en fonction des conditions d'exploitation de chaque ouvrage souterrain. Une fois gonflé cet élément permet aussi le report de charge (poids propre) sur le revêtement.

[0011] L'utilisation de matériaux à forte conductivité pour la réalisation du parement assure l'efficacité de l'échange thermique. La disposition (diamètre, espacement) des tubes échangeurs du parement est adaptée à l'usage de l'ouvrage souterrain et aux dégagements de chaleur associés. Chaque élément de parement est raccordé à une conduite principale froide (aller) et chaude (retour). Ce système d'échangeurs peut être raccordé à un réseau de chaleur en surface pour l'alimentation, ainsi qu'à un réseau de stockage géothermique dans le terrain autour de l'ouvrage. 5

[0012] Ce système peut également être connecté aux équipements de ventilation mécanique grâce à l'intégration de capteurs de chaleur (câbles à fibres optiques) intégrés au parement lors de sa fabrication. 10 15

Revendications

1. Dispositif d'échange aérothermique pour ouvrages souterrains, comportant un parement préfabriqué non structurel placé en avant du soutènement de l'ouvrage, (un tunnel ou une caverne). 20
2. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé en ce que** le matériau du parement a un coefficient de conductivité thermique supérieur à 1 W/(mK). 25
3. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé en ce que** le parement intègre des tubes échangeurs en serpentin dont le matériau et la disposition (diamètre, espacement) est adaptée à la puissance de rafraîchissement nécessaire. 30 35
4. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé par** la création d'un espace d'air intermédiaire entre le parement et le soutènement. 35
5. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé en ce que** le parement intègre des ouvertures en parties haute et basse. 40
6. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé par** l'utilisation des renforts (excroissances sur l'extrados du parement) comme mur de compartimentage de l'air afin de créer des cheminées. 45
7. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé par** l'inclinaison des cheminées entre 10° et 45° de la verticale et le recouvrement entre renfort de chaque panneau de parement pour assurer la continuité entre cheminées. 50
8. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé en ce que** le parement intègre des capteurs de chaleur en fibre optique couplés entre parements. 55
9. Dispositif d'échange selon la revendication I, **caractérisé en ce qu'un** système de branchement d'échangeur géothermique (extraction, stockage dans le terrain) est possible. 55

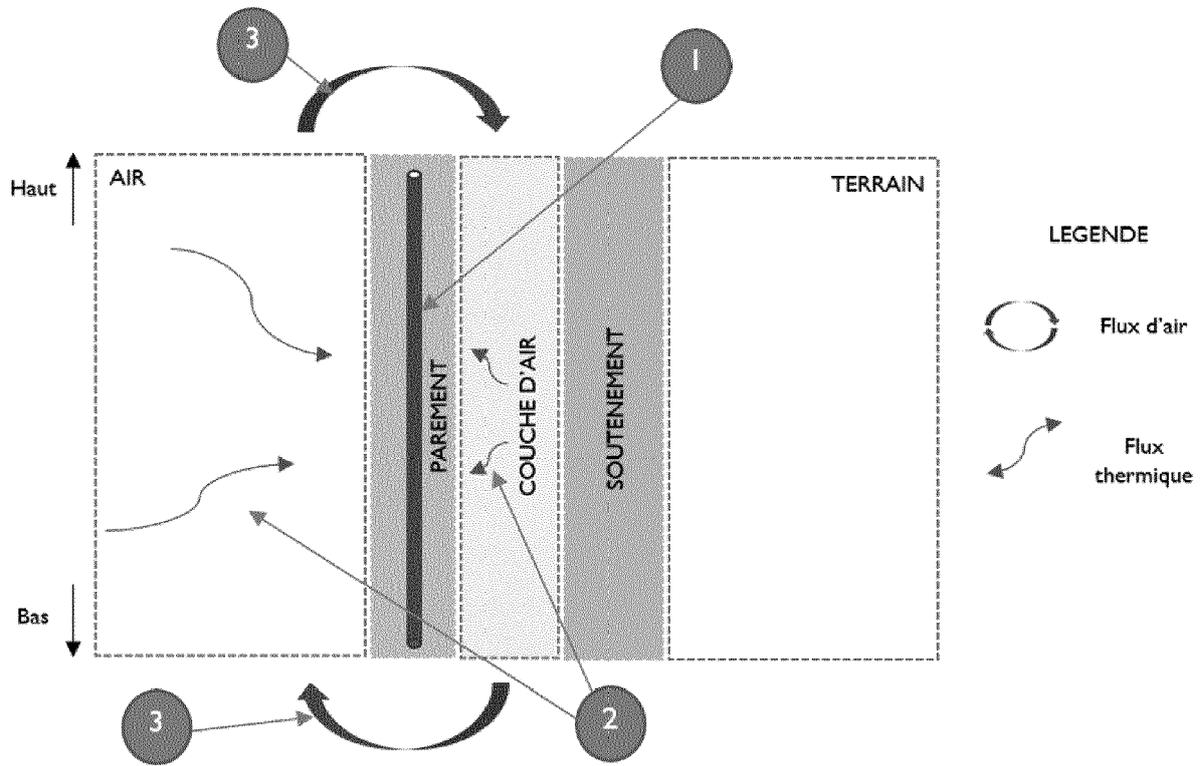


Figure 1 : Schéma de coupe verticale de principe de l'échangeur et de la circulation d'air

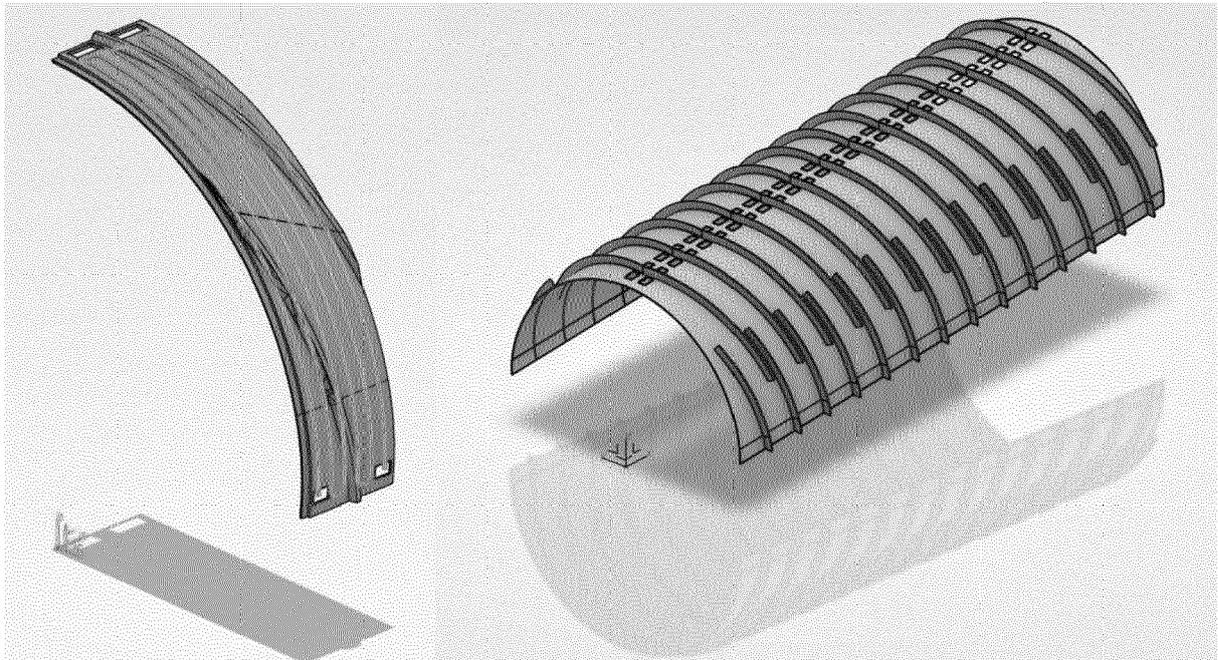


Figure 2 : Elément de parement (gauche) et assemblage du parement à l'échelle de l'ouvrage (droite).



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 21 40 5004

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	WO 2012/079609 A1 (SCHOCH EDELSTAHL GMBH [DE]; GRIMM FRIEDRICH [DE]) 21 juin 2012 (2012-06-21) * page 12, ligne 8 - ligne 25; figures 1,7 *	1-7,9	INV. E21F3/00 F24T10/10
X	EP 1 655 566 A2 (POLYFELT GMBH [AT]) 10 mai 2006 (2006-05-10) * alinéa [0007]; figures 1,2 * * alinéa [0020] - alinéa [0021] * * alinéa [0024] * * ligne 28 - ligne 30 *	1-4,6,7,9	
X	EP 1 905 947 A1 (ZUEBLIN AG [DE]; PSP BERATENDE INGENIEURE PROF [DE]) 2 avril 2008 (2008-04-02) * alinéa [0010]; figures 1,3 * * alinéa [0012] *	1-3,6,7,9	
X	JP S48 27543 A (RYOWA CHOON KOGYO CO., LTD) 11 avril 1973 (1973-04-11) * revendication 1; figure 3 *	1-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	CN 104 594 156 B (UNIV CHONGQING JIAOTONG) 1 août 2017 (2017-08-01) * revendication 1; figures 1,2 *	1-9	E21F F24T E21D F24S
2 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 18 janvier 2022	Examineur Dantine, Patrick
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 21 40 5004

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

18-01-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2012079609 A1	21-06-2012	AUCUN	
EP 1655566 A2	10-05-2006	AUCUN	
EP 1905947 A1	02-04-2008	AUCUN	
JP S4827543 A	11-04-1973	AUCUN	
CN 104594156 B	01-08-2017	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82