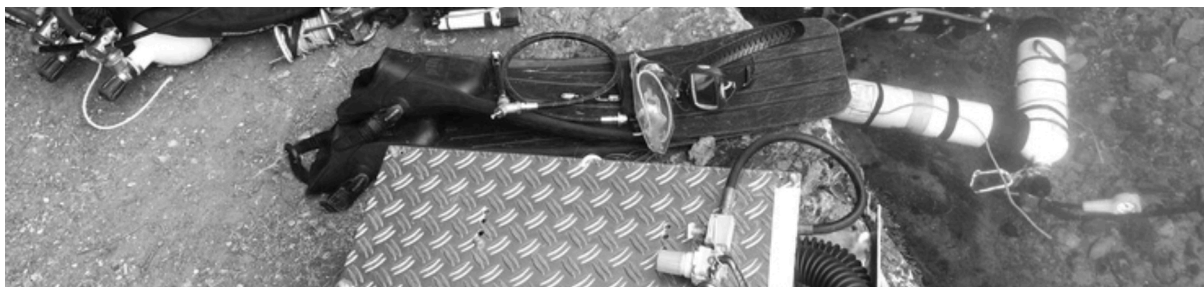


Par : Pierre Boudinet

Membre individuel Fédération Française de Spéléologie (FFS) et membre sympathisant du Groupe Clostrophile du Plateau de Montrond (GCPM), membre des associations allemandes « Freunde der Aachhöhle » (FDA), « Verband für Höhlenforschung und Karstforschung » (VDHK), « Höhlenrettung Baden-Württemberg » (HR-BW), membre de l'association anglaise « British Cave Research Association » (BCRA).

Mise en page by Véro.



Utilisation des recycleurs en plongée souterraine Fragments De réflexions



Image 1 : l'auteur en plongée en piscine.

Rencontre dans le Bade-Wurtemberg et échanges franco-allemands

CONTEXTE

Le 13 juillet 2024 a été organisée en Allemagne une rencontre dans le Bade-Wurtemberg (BW), par l'association de spéléo secours « Höhlenrettung Baden-Württemberg » (HR-BW). Dans une piscine se sont rassemblés des plongeurs spéléologues utilisant des recycleurs sous terre ou intéressés par cet usage. J'ai participé (**Image 1**) et ai eu d'autres échanges avec d'autres personnes allemandes et françaises intéressées soit par la plongée spéléo, soit par le spéléo secours. Une majorité de ces personnes voyagent régulièrement en Europe et plongent dans des siphons étrangers avec ou sans recycleurs. Ce qui suit est une première présentation des idées les plus importantes qui ont germé au cours des discussions et des réflexions. « Les plus importantes » signifie que ce n'est pas complet, qu'il s'agit d'une première ébauche à développer et compléter à l'avenir.

Introduction

Quel que soit son objectif précis, la réunion initiée par le HR-BW a été très ouverte et libre : un large éventail d'équipements était présent, allant du CCR (Recycleur en circuit fermé) parfaitement conforme aux normes nationales et européennes au SCR (Recycleur en circuit semi-fermé) fait maison (**Image 2**),

avec des appareils intermédiaires « plus ou moins personnalisés ». Chaque participant a eu l'occasion de présenter son matériel aux autres participants et de tester les appareils des autres participants sous l'eau. Bien qu'une piscine ne soit pas un siphon, cela a permis d'obtenir une première idée des avantages et des inconvénients de chaque recycleur. À la suite de cet événement, j'ai également discuté avec d'autres plongeurs spéléologues qui n'y avaient pas participé.

Il ne s'agit pas d'un compte-rendu de la rencontre, bien que celle-ci ait initié la réflexion. L'article se concentre sur les points suivants : le gain d'un recycleur concernant la consommation d'oxygène est différent de celui d'un recycleur concernant l'autonomie souterraine ; le gain d'un recycleur concernant l'autonomie souterraine est différent du gain global d'un recycleur utilisé sous terre ; l'utilisation d'un recycleur confère un avantage évident dans certains siphons, mais pas dans la majorité des cavités inondées ; à plus grande échelle, apprendre à utiliser des recycleurs sous terre consomme du temps et des moyens, cet inconvénient n'est pas toujours compensé par un avantage global.

Le gain d'un recycleur concernant la consommation d'oxygène

Avec un recycleur en circuit fermé (CCR), tout l'oxygène consommé par le plongeur est automatiquement renouvelé. Cela signifie, par exemple, qu'avec une bouteille d'oxygène de 4 litres remplie à 200 b, en supposant une consommation d'oxygène de 1 nl/min , vous pourriez plonger 800 minutes (13 h 20), indépendamment de la profondeur. Il faut tenir compte de la limite de chaux sodée et la réduire à, disons, 5 heures avec une grande cartouche. À l'aide d'un recycleur semi-fermé (SCR) alimenté au nitrox ou au trimix, avec une consommation d'oxygène $V_e \approx 1 \text{ nl/min}$, un débit d'entrée $V_i (\text{nl/min})$ d'un mélange de proportion C_i d'oxygène, la proportion d'oxygène du mélange respiré peut — dans une hypothèse d'état stationnaire — être facilement établie comme $C_b = \frac{C_i V_i - V_e}{V_i - V_e}$.

Cela signifie que l'utilisation de plusieurs mélanges au cours d'une même plongée est parfois nécessaire, contrairement à un CCR. En supposant que V_i dépend de la profondeur et correspond à 3 l/min et C_b au maximum possible, **la figure 1** présente



Image 2 : l'auteur en train d'essayer un recycleur

la durée en fonction de la profondeur avec une bouteille de 7 litres. **La figure 1** présente également la durée en fonction de la profondeur pour le circuit ouvert en supposant une consommation de 20 l/min et une paire de bouteilles de 12 l ou 18 l avec la règle des tiers (plus d'informations ci-dessous à propos de cette règle).

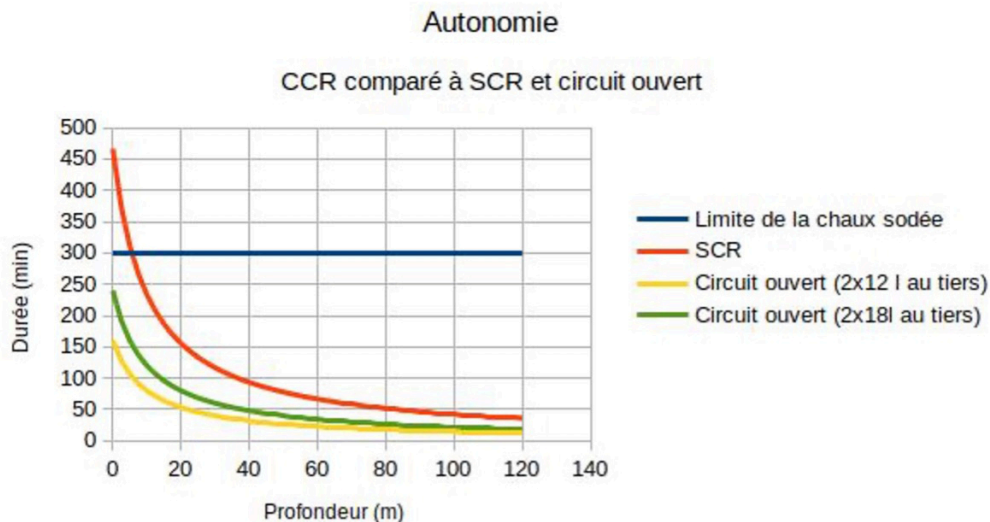


Figure 1 : Comparaison entre l'autonomie d'un circuit fermé (CCR), semi-fermé (SCR) et du circuit ouvert (OC). Pour des plongées profondes, l'autonomie réelle devrait intégrer une décompression importante. Les CCR apparaissent loin devant les autres matériels envisageables. De plus, ils ne requièrent que deux mélanges (oxygène et diluant).

Le gain d'un recycleur en ce qui concerne l'autonomie souterraine

La situation la plus courante est l'utilisation d'un seul recycleur avec des bouteilles de sécurité (OC). Dans un tel cas, en supposant que l'autonomie fournie par le recycleur lui-même est supérieure à l'autonomie fournie par les circuits ouverts, il s'agit d'une « redondance asymétrique ». Avec un exemple très simple et approximatif, supposons qu'une plongée soit effectuée à l'aide d'un recycleur et d'une bouteille de sécurité au lieu de deux bouteilles. Ajoutons que les bouteilles puissent être gérées selon la règle des tiers (ce qui n'est pas adapté à toutes les plongées, mais adapté lorsque l'on passe plus de temps à l'aller qu'au retour, par exemple lors de la pose de fil d'Ariane ou de travail sous l'eau). Avec deux bouteilles, on utilise deux tiers à l'aller, deux tiers au retour, on a deux tiers en sécurité, en cas de panne d'une bouteille.

Avec une bouteille et un recycleur, on dispose de trois tiers au retour au lieu de deux tiers. La conclusion partielle — indépendante du type de recycleur — est que l'autonomie est multipliée par $1,5 (3/2)$, mais pas plus. Cela contraste avec **la figure 1** ! L'utilisation d'une bouteille-relais (règle des 40 %) aurait permis d'obtenir le même gain en autonomie avec moins d'inconvénients. Le seul moyen de contourner cette limite est d'utiliser des recycleurs comme redondance. C'est un seuil important à franchir ; la majorité des personnes rencontrées dans les siphons ou à proximité utilisent un seul recycleur et des bouteilles classiques en secours. La valeur $3/2$ du rendement serait certainement légèrement modifiée si l'on considérait d'autres règles que le tiers en circuit ouvert. Pour les plongées ordinaires, un collègue

allemand m'a indiqué qu'il utilisait la règle des quarts lorsqu'il utilisait deux bouteilles, la règle des tiers lorsqu'il utilisait trois bouteilles. Cependant, l'ordre de grandeur resterait le même ; en d'autres termes, pas de gain d'un facteur dix ou même quatre !

L'avantage global d'un recycleur en siphon

Comme mentionné ci-dessus, avec un seul recycleur sécurisé en circuit ouvert, nous sommes dans le cas d'une redondance asymétrique. Certains incidents (se perdre, s'emmêler dans la ligne, avoir des problèmes d'équilibrage, etc.) ne correspondent pas à une panne de recycleur. Dans le cadre de la résolution de tels incidents, par rapport au circuit ouvert, le recycleur donne l'avantage d'avoir plus de temps et une consommation indépendante ou moins dépendante du rythme respiratoire du plongeur. Pour la même raison, l'utilisation d'un recycleur pour une plongée plus compliquée que simplement « nager à l'aller, puis nager au retour » (cas de travaux sous-marins tels que s'arrêter pour faire des photos, forer des trous pour des amarrages fiables, etc.) a un sens.

À cause de la réaction chimique de fixation du dioxyde de carbone, l'air est souvent plus chaud qu'en circuit ouvert (détente adiabatique) : ce qui est un inconvénient pour la plongée en Mer Rouge est un avantage pour la plongée dans les siphons septentrionaux ! Lorsque vous voyagez en voiture, si vous n'avez pas un accès facile à un compresseur pour remplir vos bouteilles, il ne reste que deux options : soit transporter suffisamment de bouteilles (cela a l'avantage de la simplicité et vous pouvez utiliser des bouteilles partiellement vides comme relais) ou utiliser un recycleur (avec moins de bouteilles et des bouteilles plus petites, cela réduit le risque juridique et le poids à transporter, c'est devenu ma stratégie habituelle pour plonger un certain siphon du Bade-Wurtemberg). Lorsque je ne plonge pas seul, dans certaines occasions, je garde mon SCR et dans d'autres, je reviens au circuit ouvert plus simple.

L'utilisation d'un recycleur confère un réel avantage dans certains siphons, mais pas dans une majorité de cavités inondées

Il est évident que, pour explorer une cavité ennoyée longue ou profonde qui se poursuit au-delà des limites imposées par l'utilisation du circuit ouvert ou d'un seul recycleur, la seule solution est l'utilisation de plusieurs recycleurs. Il s'agit de siphons spécifiques, par exemple Doux de Coly, Font Estramar, au-delà du premier siphon de la Ressel, etc. D'autres cavités, ayant une configuration différente ou dans le cadre d'un autre objectif (sauvetage, travail) peuvent très bien être plongées sans recycleur. Dans le cadre du travail d'équipe, cela réduit tous les problèmes induits par la confrontation à quelqu'un utilisant des équipements différents, cela élimine également les erreurs potentielles qui pourraient être induites par un système « trop complexe ».

Cela me rappelle une anecdote personnelle : en juin 2022, avec deux collègues allemands nous avons plongé le Ressel (Lot – France). Notre objectif était de faire une boucle dans la partie peu profonde de la grotte et de visiter les premiers ressauts. Autour de nous, il y avait beaucoup de gens qui utilisaient des recycleurs (et que j'ai observé minutieusement, espionnant technologiquement pour améliorer ma connaissance des matériels). Ils étaient plus lents que nous, qui n'utilisions que du circuit ouvert ! Pour faire court : avec deux bouteilles de douze litres, nous sommes allés plus loin que certains d'entre

eux et aurions pu faire une deuxième plongée intéressante avec l'air restant !

Si l'on prend l'exemple du Bade-Wurtemberg, il y a peu de siphons où la HR-BW pourrait s'entraîner pour un sauvetage et ils peuvent tous être plongés sans recycleur. Essentiellement : Falkensteiner Höhle, Mordloch, Wulfbachquelle. Dans ce cas, l'intérêt de discuter des recycleurs est ailleurs, il s'agit de créer du lien entre les plongeurs. Gardons aussi à l'esprit que les recycleurs peuvent être impliqués dans un sauvetage non pas du côté des sauveteurs, mais du côté de la victime. Pour porter assistance, il est plus qu'utile de connaître les techniques employées par la ou les victimes.

À l'échelle de la vie, apprendre à utiliser des recycleurs sous terre prend du temps et des moyens, cet inconvénient est ou n'est pas compensé par un avantage global

À la gamme des appareils qui était présents dans la piscine lors de la rencontre organisée par la HR-BW est adossé une autre gamme : celui de l'apprentissage à utiliser un recycleur en siphon. La méthode aujourd'hui dominante consiste à participer à la formation — peu axée sur les siphons — qui est obligatoire avant l'achat d'un appareil. Sous certains aspects, ce type de formation à un matériel déjà existant est équivalente à suivre du fil d'Ariane sans savoir le poser. Il existe une méthode traditionnelle, de progression pas-à-pas, en construisant l'appareil et en le testant en même temps, en commettant des erreurs et des corrections. C'est presque le même modèle que celui des premières formations à la plongée spéléo, où l'on nous enseignait principalement les erreurs fatales, puis on nous apprenait à apprendre le reste par nous-mêmes.

« Le temps, c'est de l'argent et l'argent, c'est du temps » : la consommation de temps libre et d'argent est ou n'est pas compensée par un rendement global. On peut penser que même si vous ne vous occupez que d'exploration, l'avantage que les recycleurs vous donnent pour explorer certaines cavités doit être soigneusement comparé à l'inconvénient d'avoir moins de temps pour faire des plongées en circuit ouvert plus simples, mais plus nombreuses, dans des cavités peut-être plus modestes, mais plus diversifiées. Vous vous exposez au risque de ne pas développer suffisamment certaines compétences, voire de perdre certaines capacités (« respiration lente », etc.) Investir son argent dans des recycleurs, c'est ne pas l'investir, par exemple, dans des expéditions spéléologiques à l'étranger, dans l'entretien ou le renouvellement de votre matériel de base,

etc. C'est du moins le cas de la plupart des personnes, qui ne bénéficient pas trop ou pas du tout de financements.

Quoi qu'il en soit, l'utilisation d'un seul recycleur (ce qui est principalement assuré en circuit ouvert) peut être considérée soit comme un but en soi, soit comme un état intermédiaire. Si vous vous définissez comme un plongeur tek, plonger avec un recycleur peut être un objectif intéressant. Si vous vous définissez comme un explorateur, maîtriser suffisamment bien un recycleur peut être une étape intermédiaire avant de s'appuyer suffisamment sur cet équipement pour ne plus envisager une sécurisation complète en circuit ouvert. C'est ce que suggère la figure 2.

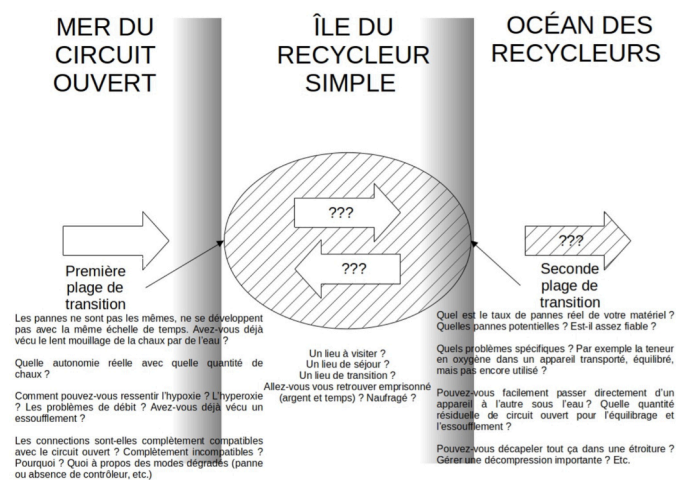


Figure 2 : les risques et gains potentiels avec des recycleurs sous terre peuvent être schématisés sur une figure qui n'est pas sans parenté avec la carte du trésor d'une île aux pirates imaginaire. Cela peut être perçu comme un voyage avec différentes issues possibles.

Remerciements

À Joachim Kreisellaier, coordonnateur des plongées dans « l'Aachquelle » et des explorations dans le Danube Noir et membre de plusieurs associations allemandes incluant HR-BW, VDHK, FDA, pour nos discussions longues et fructueuses.

À la HR-BW, à Mathias Frey, Daniel Bauer et tous les collègues qui dirigent ou supportent l'association et organisent des actions.

À Bogdan Grigoruk, qui réalise de l'exploration avec un SCR dans un siphon difficile et avec qui j'avais déjà eu des discussions fructueuses l'automne dernier. À Udo Happ, explorateur du même cercle et lieu.

À Philippe Brunet, explorateur qui m'a formé il y a bien longtemps et de la philosophie duquel je partage de nombreux avis (référence ci-dessus).

À Georg Stauch et Wolfgang Kanig, que j'ai rencontrés à la Douix et avec qui j'ai eu des discussions intéressantes à propos de la sécurité et des recycleurs artisanaux.

À la communauté (majoritairement de lieux germanophones) qui plonge l'Aachquelle avec ou sans recycleur et avec qui j'ai eu des discussions fructueuses.

À plusieurs plongeurs français ou allemands que j'ai récemment rencontrés près de ou dans l'eau souterraine, avec qui j'ai eu des échanges positifs.

À Florence Guillot et Denis Langlois, explorateurs et spécialistes de la spéléologie, pour leur précieuse aide concernant la rédaction en français à plusieurs niveaux.

Conclusion

De la même façon que la plongée souterraine n'est pas la « Formule 1 » de la plongée sous-marine ou de la plongée « tek », l'utilisation de recycleurs peut se révéler une solution potentielle, mais pas la seule, pour produire de bons résultats en siphon. Le dogmatisme et l'application de règles ou d'usages trop restrictifs, trop spécifiques, ne sont pas efficaces pour la plongée spéléologique dans son ensemble : rétrécir la diversité ci-dessus équivaut à disposer de moins de solutions potentielles pour résoudre de futurs problèmes. D'une manière plus imagée, si vous enlevez les couleurs de l'arc-en-ciel, il disparaît.

Références

Boudinet, P. (2019) : Underground, Rebreathers are not Toys. Akten des 14. Nationalen Kongresses für Höhlenforschung. Höhlenforschungsgemeinschaft Region Hohgant HRH. Interlaken / Schweiz. P 241-244.

Boudinet, P. 2014. Speleo International N° 1. Plongée spéléologique de longue distance. P 88-95. <http://issuu.com/mihaelanicoletamicula/docs/speleo-international-magazine>

Brunet, P. (2000) : Risques et autonomie en plongée souterraine. Available: <http://www.plongeesout.com/articles%20publication/generaux/enseignement/autonomie%20brunet.htm>

Translated in English in the chapter 21 of Boudinet P. (2022): The Art of Cave Diving. ISBN : 979106996711. <https://www.thebookedition.com/fr/the-art-of-cave-diving-p-389942.html>

Heinerth, J. The Basics of Rebreather Diving: Beyond SCUBA to Explore the Underwater World. Heinerth Productions Inc., 2013. ASIN : B01N40DCGX

Meniscus, X. (2008) : Les stratégies de redondances et leurs variantes, dans l'utilisation de recycleurs à circuit fermé en plongée souterraine. Available: <http://www.helioplongee.fr/redondance.html>

Stauch, G. Höhlentauchen. ISBN : 978-3937522326