

Les techniques d'intervention subaquatique : moyens, méthodes, recherches et perspectives

Bernard GARDETTE *, Henri-Germain DELAUZE *

1. INTRODUCTION

Les interventions subaquatiques concernent, en France, un grand nombre de pratiquants répartis en différents secteurs d'activité :

- la plongée loisir ou sportive (120 000 plongeurs),
- les activités hyperbares professionnelles : pêche, aquaculture, corail (600 à 800 plongeurs), hôpital, travaux publics ou pétroliers en immersion ou au sec (6 000 personnes),
- la plongée militaire (2 000 plongeurs).

Pour intervenir sous l'eau, deux techniques ont été développées : celle où l'homme est directement soumis à la pression et doit utiliser des moyens et des méthodes appropriées en fonction de la profondeur et de la durée de l'intervention et celle où l'homme n'est pas directement soumis à la pression et utilise un sous-marin en pression atmosphérique ou dirige un robot à distance.

2. HISTORIQUE

L'homme a toujours cherché à s'aventurer dans des milieux hostiles. Le monde sous-marin, comme l'espace, est un bon exemple de ces environnements extrêmes où un très grand nombre de moyens très variés ont été imaginés, puis réalisés pour y pénétrer, séjourner et y travailler.

La technique la plus ancienne de plongée est la plongée en apnée (arrêt de la respiration). Cette technique, dont l'origine se perd dans la nuit des temps, semble avoir vu le jour dans plusieurs lieux à la fois dans le monde : bassin méditerranéen, Mer Rouge, Polynésie, Extrême-Orient... Elle continue à être largement pratiquée pour la cueillette, la chasse ou les loisirs.

* COMEX S.A — 36, Boulevard des Océans — 13275 Marseille cedex 09.
Tél. : (33) 91.23.50.00. Fax : (33) 91.23.50.21.

Tirés-à-part : Professeur Bernard GARDETTE, à l'adresse ci-dessus.
Article reçu le 25 mars 1996, accepté le 15 avril 1996.

Les premiers projets d'équipements sous-marins apparaissent au XVI^e siècle, mais c'est surtout au XIX^e que sont mises au point les techniques qui préfigurent la plongée moderne [1].

Siebe invente, en 1819, un scaphandre qui deviendra le célèbre scaphandre « pied lourd » Siebe-Gorman, encore utilisé de nos jours. En 1865, le premier appareil autonome est réalisé par Rouqueyrol et Dénayrouse. Parallèlement, le premier appareil en circuit fermé à l'oxygène est mis au point par Fleuss (1878).

Il est l'ancêtre des « Oxygers » utilisés par les nageurs de combat de la Marine française. Puis le scaphandre Le Prieur voit le jour en 1926. Enfin, en 1942, le scaphandre autonome moderne Cousteau-Gagnan est inventé. Il ouvre au public le monde sous-marin qui était, jusqu'alors, résumé aux seuls professionnels, civils ou militaires.

En complément de l'invention de ces scaphandres individuels, des enceintes pressurisées ont été conçues pour des séjours sous-marins prolongés. Dès 1690, apparaît la cloche à plongeur de Halley qui deviendra la tourelle de plongée moderne. En 1839, l'ingénieur français Trigger met au point un système de « tube » sous pression servant au forage des puits de mines et des galeries immergées et à la construction de pile de ponts. Les ouvriers (« tubistes ») peuvent ainsi travailler au sec sous une pression pouvant aller jusqu'à 3 atmosphères. Plus récemment (1960), des caissons immergés sous pression, véritables habitats sous-marins, ont été utilisés : Précontinent I, II et III en France, Man in the Sea, Sealab et Tektite aux Etats-Unis, Sublimos au Canada, Hélioland en Allemagne, Tchernomor en ex-URSS. Mais ces habitations immergées ont été rapidement remplacées par des caissons de surface pressurisés, avec transfert des plongeurs sous pression sur le fond par la tourelle de plongée.

D'autres engins non pressurisés (en pression atmosphérique) ont été également conçus pour l'observation sous-marine, parmi lesquels il faut citer la « bathysphère » de l'américain Beebe (1930), les bathyscaphes (FNRS II, 1948, de Piccard et l'Archimède), puis les sous-marins modernes (6 000 mètres) comme le Nautil (Ifremer, France), l'Alvin (États-Unis), le Shinkay (Japon) ou le Remora 2000 (Comex, France).

Des sous-marins « mixtes » ont également été construits à usage industriel comme le Saga « Sous-marin à Grande Autonomie » en 1987 (Comex/Ifremer), permettant à des plongeurs sous pression d'intervenir dans l'eau jusqu'à 450 mètres de profondeur.

Enfin, de nos jours, des robots téléopérés de la surface (ROV) ont tendance à accompagner, voire à remplacer, les plongeurs sur les chantiers pétroliers où les tâches sont de plus en plus planifiées.

3. L'INTERVENTION HUMAINE... VERS LES GRANDES PROFONDEURS

3.1. La plongée à l'air

Mise à part l'apnée qui reste un moyen d'intervention sous-marine limité en profondeur et en durée, la plongée ou toute intervention hyperbare à l'air comporte également ses propres limites. Les effets de la narcose à l'azote, la toxicité de l'oxygène [2], l'essoufflement d'une part, et l'obligation de respecter en fin d'immersion des paliers de décompression d'autre part, limitent progressivement la capacité de travail du plongeur respirant de l'air comprimé au-delà de 50-60 mètres [3].

Dans l'air respiré par le plongeur, l'azote, gaz non métabolisé, durant la descente et le séjour au fond, sous l'action de la pression, se dissout dans le sang puis, par transfert progressif, dans tous les tissus. A la remontée, lors de la décompression, l'azote suit le chemin inverse, quitte les tissus, passe dans le sang, puis dans les poumons pour être éliminé. Si ce processus est suffisamment lent pour que l'azote dissout ne dépasse pas un seuil de « sursaturation » trop important, le plongeur ne développera pas de maladie de décompression. Mais, si la décompression est trop rapide, l'azote sera libéré dans les tissus sous forme de bulles, génératrices d'accidents [4].

Au-delà d'une certaine profondeur et d'une certaine durée, la longueur des paliers de décompression à respecter lors de la remontée devient telle qu'elle enlève tout intérêt économique à l'intervention de plongeurs. Ainsi a été inventée une méthode pour rentabiliser le séjour au fond : la plongée à saturation [5].

3.2. La plongée à saturation

La plongée à saturation, à partir d'un habitat immergé encore appelé « maison sous la mer », a donné lieu à un grand nombre d'expériences, en France et à l'étranger, entre 1960 et 1980. Mais il faut disposer d'une énorme infrastructure en surface (énergie, gaz, ravitaillement, communications etc...) qui enlève toute souplesse à l'opération. Très vite, on s'est aperçu que, sur le plan industriel, ce type de moyen n'offrait pas grand intérêt. Seuls les Etats-Unis continuent à utiliser ces habitats sous-marins à faible profondeur pour la recherche scientifique ou les loisirs.

La méthode la plus économique et la mieux adaptée est celle qui consiste à faire vivre les plongeurs dans un caisson de surface pressurisé, à la pression du fond, pendant toute la durée du travail, plusieurs jours ou plusieurs semaines. Cette méthode de plongée à saturation dite « de surface » fut lancée en France, dès 1966, par COMEX [3].

Les plongeurs sont descendus sur le chantier sous-marin à l'aide d'une tourelle de plongée pressurisée. Ils peuvent ainsi passer de leur lieu de travail (eau) à leur lieu de repos (caisson) sans décompression.

A la fin de leur travail, ils ne subissent qu'une seule décompression finale. Les caissons de pont sont à la fois salle de séjour, chambre à coucher, sanitaires avec douche et toilettes et sas, servant de liaison avec l'extérieur.

Un système de régénération réchauffe et épure en permanence l'atmosphère. Un centre de contrôle permet de surveiller et de maintenir aux niveaux fixés tous les paramètres d'environnement des caissons : pression, température, humidité, pression d'oxygène, de dioxyde de carbone, etc...

La tourelle de plongée permet d'amener trois plongeurs jusqu'au niveau du chantier sous-marin où deux plongeurs pourront sortir pour travailler jusqu'à six heures dans l'eau et le troisième restera à l'intérieur en sécurité (« bellman »). Le plongeur scaphandrier au travail est relié à la tourelle par un ombilical complexe. Il est équipé d'un vêtement à circulation d'eau chaude, d'un casque — comprenant un détendeur de gaz respiratoire avec réchauffeur et un système de communication phonique — et de bouteilles de secours (ou d'un appareil respiratoire à circuit semi-fermé pour les grandes profondeurs), en cas de défaut d'alimentation en gaz. Les plongeurs dans l'eau sont surveillés et guidés en permanence de la surface, à partir du contrôle de plongée, au moyen de caméras vidéo immergées.

3.3. Plus profond avec l'hélium

Dans les années 1930, des expériences ont été entreprises par la marine américaine pour alimenter le plongeur non plus en air comprimé, mais en mélange respiratoire synthétique dans lequel l'azote est remplacé par un autre gaz inerte diluant de l'oxygène, l'hélium. Ce dernier, d'une densité sept fois inférieure à celle de l'azote, permet de meilleures performances en supprimant les effets de la narcose et de l'essoufflement, jusqu'à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres. Moyennant la mise au point de tables de décompression spécialement adaptées à ce nouveau mélange appelé héliox (hélium-oxygène), les limites de profondeur imposées par l'air ont été considérablement repoussées, et les plongeurs sous-marins ont pu se retrouver aussi à l'aise à 150 mètres de profondeur qu'ils l'étaient auparavant à 30 mètres avec de l'air comprimé. Mais, à partir de 150 mètres, surgit très progressivement un nouvel obstacle. Le plongeur, fort heureusement, ne retrouve pas cette altération de la conscience propre à l'ivresse des profondeurs entraînée par l'azote, mais éprouve simplement quelques vertiges, un léger tremblement et une certaine maladresse des gestes. Tout cela correspond à la phase initiale du syndrome d'excitabilité du système nerveux central décrit, en 1968, par X. Fructus, R. Naquet et R. Brauer, sous le nom de « syndrome nerveux des hautes pressions » (SNHP). Cet obstacle présente des caractéristiques spécifiques, et des études furent menées,

dès 1963, au Centre d'Essais Hyperbares (CEH) de la COMEX en vue de repousser les limites de l'intervention humaine à grande profondeur, avec une maîtrise calculée du SNHP. Jusqu'en 1982, six grandes séries de plongées d'essais au mélange héliox ou trimix (hélium, azote, oxygène) ont été ainsi réalisées dans les caissons du CEH à Marseille : Ludion, Physalie, Sagittaire, Belouga, Coraz et Janus. Durant cette période, et grâce à plus d'un millier de plongées d'essais, il put être démontré que l'on pouvait amener des plongeurs jusqu'à 610 mètres (Physalie 6, 1972, et Sagittaire 4, 1974). Mais il fallut aussi prouver que ces derniers étaient capables de fournir un travail en situation réelle en mer. C'est ce qui fut fait en 1977, lors de l'opération Janus 4 au large de Cavalaire (Var). Six plongeurs professionnels, quatre de la COMEX et deux de la marine nationale, travaillèrent sur un chantier situé à 460 mètres sous la surface. Le 20 octobre, trois d'entre eux, Patrick Raude, Jacques Verpeaux et Gérard Vial, poussaient une pointe jusqu'à 500 mètres, record qui ne fut battu que onze années plus tard, en 1988, lors de l'opération Comex-Hydra 8 [6]. Aujourd'hui, quatre sociétés internationales de travaux sous-marins réalisent couramment des saturations héliox jusqu'à 300 mètres de profondeur, notamment au Brésil, mais deux facteurs limitent l'efficacité du plongeur : le SNHP et les limitations ventilatoires dues à la densité du mélange gazeux.

3.4. Demain l'hydrogène

L'idée, initiée par Lavoisier, d'utiliser l'hydrogène comme un gaz respiratoire à faible densité, remonte au XVIII^e siècle. Le premier homme qui a eu le courage d'expérimenter l'hydrogène sur lui-même est l'ingénieur Arne Zetterström, lors de tests réalisés entre 1943 et 1945 par la marine royale suédoise. En dehors de quelques expériences sur des animaux en laboratoire, aucun programme substantiel ne sera entrepris avant 1967. En 1968, lors de la mission Hydra 1, la COMEX essaie de placer l'un de ses plongeurs d'élite, René Veyrunes, en pleine eau à la profondeur de 250 mètres. L'équipement du plongeur était alors insuffisant pour le protéger du froid et, à peine sorti, il dut retourner à sa tourelle. Il faudra attendre 1982 pour que le programme de recherche sur l'hydrogène soit relancé, profitant de l'évolution du matériel et des technologies de la plongée profonde mises au point sur les chantiers pétroliers. L'objectif est alors de définir les méthodes industrielles nécessaires à l'emploi pratique des mélanges hydrogénés et d'en étudier les limites chez l'homme. En 1983 (Hydra 3), seize plongeurs avec à leur tête Henri Delauze, Président de la COMEX, effectuent une série de plongées entre 70 et 91 mètres en mer, au large de Marseille. La même année, lors d'Hydra 4, six plongeurs respirent, pour la première fois, de l'hydrogène en caisson sous une pression de 31 bars, équivalente à une pression de 300 mètres. Deux années plus tard, en 1985, six plongeurs réalisent la première saturation au mélange hydréllox (hydrogène - hélium - oxygène) à 450 mètres de profondeur (Hydra 5).

Pour démontrer la faisabilité industrielle de la plongée à l'hydrogène, la suite du programme de recherche chez l'homme devrait comprendre une démonstration, en conditions réelles de travail en mer, des capacités de travail de l'homme à une profondeur encore jamais atteinte : plus de 500 mètres. Pour réaliser ce projet ambitieux, deux plongées d'entraînement et de sélection ont été réalisées dans les caissons de la COMEX à Marseille : Hydra 6 (1986) à 520 mètres avec de l'hydrélioxy et Hydra 7 (1987) à 260 mètres avec de l'hydrox (hydrogène-oxygène). La confirmation « en réel » (Hydra 8) s'est déroulée en Méditerranée en Février-Mars 1988, à partir du navire Orelia. Elle a démontré la remarquable efficacité des plongeurs à 520 et 534 mètres de profondeur, semblable à celle qui est habituellement observée sur un chantier à 200-250 mètres de profondeur au mélange hélioxy [6].

Puis ce fut Hydra 9, en 1989, qui permit de préciser la plage d'utilisation de l'hydrox et les effets, chez l'homme, d'une exposition de longue durée. Dix ans après le début du programme Hydra, tous les éléments étaient enfin réunis pour dépasser les frontières de l'intervention humaine, ce qui fut réalisé lors de la plongée d'essais Hydra 10 qui s'est déroulée d'octobre à décembre 1992, dans les caissons du CEH de la COMEX, à Marseille. L'équipe était composée de trois plongeurs professionnels : Serge Icart, Théo Mavrostomos et Régis Peilho. Après treize jours de compression, l'un d'entre eux, Théo Mavrostomos, atteint la profondeur record de 701 mètres (71,1 bars, soit 7,11 MPa) et effectue une démonstration de travail durant trois heures [7].

Au-delà de cet exploit, les travaux en immersion effectués par les plongeurs ouvrent de nouvelles perspectives dans l'avancée des technologies offshore sous-marines. Des premières conclusions peuvent d'ores et déjà être tirées : avec l'emploi des mélanges respiratoires hydrogénés, la zone des 300 à 650 mètres peut être considérée comme ouverte à une large population de plongeurs professionnels. Le mélange respiratoire hydrélioxy, en limitant les effets du SNHP et en augmentant le confort respiratoire, améliore considérablement l'efficacité et la capacité de travail des plongeurs sur les installations immergées de production d'hydrocarbures. Les compagnies pétrolières sont maintenant assurées d'une capacité d'assistance technique humaine dans les zones de profondeur, qui dépassent largement les possibilités de la plongée conventionnelle à l'hélium (300 m).

4. LES ENGINS D'EXPLORATION

Après l'époque des bathyscaphes (1950-1960) et des soucoupes plongeantes (1970), des engins en pression atmosphérique modernes, très performants, ont vu le jour dans les années 80-90 :

- « Nautille » pour la France,
- « Sea Cliff » pour les Etats-Unis,

- « MIR » pour l'URSS,
- « Shinkay 6 500 » pour le Japon.

Tous peuvent atteindre 6 000 mètres, embarquer 2 à 3 passagers avec tous les équipements de navigation, de photo-vidéo et d'acquisition de données [1], [8]. Ils sont dotés de systèmes de régénération de l'atmosphère (rajout d'O₂ et élimination du CO₂ et autres polluants) et d'une climatisation (température et hygrométrie).

Les tout derniers engins réalisés pour l'exploration à moyenne profondeur (1 000 mètres), concentrent toutes les technologies disponibles actuellement. Le Rémora 2000, développé en 1994 par la COMEX, est construit autour d'une sphère en méthacrylate offrant à deux passagers une vision panoramique avec évolution possible jusqu'à 610 mètres de profondeur pendant une dizaine d'heures. La conception de la propulsion et le système de contrôle/commande qui lui est associé, permettent un pilotage type hélicoptère d'une grande précision et d'une grande simplicité. Les progrès de l'électronique et de l'informatique ont rendu possible la miniaturisation et l'optimisation de toutes les fonctions du sous-marin. L'ordinateur de bord assure, en outre, le pilotage automatique : auto-cap, auto-profondeur, auto-altitude, gestion de l'énergie, affichage des paramètres de route, auto-surveillance, gestion des alarmes etc... Un sonar haute définition donne une vision panoramique de l'environnement, alors qu'un sonar latéral dessine le profil du fond défilant sous le sous-marin. Un bras manipulateur anthropomorphique maître-esclave facilite la récupération d'échantillons ou d'objets et les caméras couleur et noir et blanc très haute définition, assurent la couverture vidéo avec stockage des images sur magnétoscope. Les audio-communications sont permanentes avec l'équipe de surface, grâce au téléphone sous-marin à ultrasons. L'un des atouts de ce sous-marin et de son support de surface « Minibex » est qu'ils peuvent être opérés avec un minimum de personnel.

Dans le domaine para-pétrolier offshore, les engins habités ont été complètement supplantés dans les années 80 par les ROV. Aujourd'hui, la majorité des contrôles non destructifs sur les structures immergées, est réalisée avec ces engins en télé-opération. Les plus puissants d'entre eux sont maintenant utilisés pour intervenir sur les équipements automatisés de production : aide à la mise en place de ces équipements, puis activation des divers modules. Nul ne doute que les ROV seront les plongeurs profonds de demain.

Dans le domaine de l'exploration sous-marine « Grand Public », le dernier né de la COMEX, le « Seabus » rebaptisé « Deepstar », a été spécialement conçu pour transporter une cinquantaine de passagers à quelques dizaines de mètres de profondeur sur des sites touristiques, riches en faune et en flore. Sa particularité est d'avoir une coque faite de tronçons cylindriques en matière acrylique totalement transparente, ses 45 passagers « touristes subaquatiques » ayant ainsi une vision panoramique de l'environnement sous-marin.

RÉSUMÉ

L'intervention subaquatique concerne, en France, un grand nombre de pratiquants répartis en différents secteurs d'activité : plongée loisir ou sportive, plongée professionnelle civile ou militaire.

Tous n'utilisent pas les mêmes techniques de plongée. Les moyens et les méthodes seront choisis en fonction de la profondeur et de la durée des interventions. On distingue des moyens où l'homme est directement soumis à la pression et des moyens où l'homme reste dans un environnement en pression atmosphérique (sous-marin) ou dirige un engin à distance (ROV : *Remotely Operated Vehicle*).

Suivant la profondeur, le plongeur respire sous pression soit de l'air, soit des mélanges gazeux : héliox (hélium - oxygène), hydrox (hydrogène - oxygène) ou hydréliox (hydrogène - hélium - oxygène) et sa décompression est programmée à l'aide de « tables » spécifiques en fonction de la durée de son intervention.

En 1988, six plongeurs de la COMEX et de la Marine Nationale française travaillent en mer à la profondeur de 534 mètres et, en 1992, la profondeur de 701 mètres est atteinte dans les caissons de la COMEX à Marseille. Ces plongées records montrent l'efficacité de l'hydrogène comme composant du mélange gazeux respiratoire à grande profondeur.

Parmi tous les sous-marins construits par la COMEX, le dernier en date, le « Remora 2000 », bénéficie des dernières technologies et notamment d'une vision panoramique.

En outre, les ROV sont, de nos jours, de plus en plus utilisés sur les champs pétroliers en mer.

MOTS-CLÉS : PLONGÉE. PRESSION. HÉLIUM. HYDROGÈNE. OXYGÈNE. DÉCOMPRESSION.

SUMMARY : *Diving technology : means, methods, research and future.*

In France, diving activities are practised by a large number of people, included recreational or sport divers, commercial and military divers.

Different diving technics are used, depending on depth and duration of underwater interventions : human intervention under pressure (diving), one atmosphere submarine, remotely operated vehicle (ROV).

The diver used specific equipments and procedures with air, heliox (oxygen — helium), hydrox (oxygen-hydrogen) or hydréliox (oxygen-hydrogen-helium) breathing gas mixtures ; and for decompression, specific tables adapted to gas mixtures and underwater time exposures.

In 1988, six Comex and French Navy divers worked at a record depth of 534 msw with hydreliox and in 1992 a world record onshore dive at 701 msw was performed by Comex in Marseille. These dives showed the efficiency of hydrogen diving at very deep depth.

Among a lot of submarines built for undersea works, the latest in the range of Comex's innovative submarines, the « Remora 2000 » combines the functions and instrumentation of an oceanographic subsea vessel with eye catching design of a recreational submarine.

Now, ROV's replace more and more the diver on oil subsea offshore fields.

KEY-WORDS (Index Medicus) : DIVING. PRESSURE. HELIUM. HYDROGEN. OXYGEN. DECOMPRESSION.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RIFFAUD C. — La grande aventure des hommes sous la mer — Paris : Albin Michel, 1988.
- [2] BERT P. — La pression barométrique — Paris, 1878, réédit. CNRS, Paris, 1979.
- [3] FRUCTUS X., SCIARLI R. — Plongée, Santé, Sécurité — Rennes : Ouest-France — E.M.O.M, 1992.
- [4] BROUSSOLLE B. — Physiologie et Médecine de la plongée — Paris : Ellipses, 1992.
- [5] BENNETT P.B., ELLIOTT D.H. — The physiology and medicine of diving — Londres : W.B. Sanders Co., 4^e éd., 1993.
- [6] GARDETTE B., LEMAIRE C., ROSTAIN J.C., FRUCTUS X. — The French deep diving scientific program on oxygen-helium, Trimix and oxygen-hydrogen gas mixture. In man in the sea, Volume I — Best Publishing, 1990.
- [7] GARDETTE B., MASSIMELLI J.Y., COMET M., GORTAN C., DELAUZE H.G — Hydra 10 : A 701 msw onshore record dive on « Hydreliox » proceedings of EUBS Congress, Trondheim, Norway, 17-20 Aug. 1993.
- [8] BERRY Y., GAVARY P., HUBERT J.P., LE CHUITON J., PARC J. — La plongée et l'intervention sous la mer — Paris : Arthaud, 1977.

In 1774, the British Parliament passed the Intolerable Acts, which were a series of punitive measures against the colonies for their defiance of British authority. These acts included the closure of the port of Boston, the quartering of British soldiers in private homes, and the right of the British to search for and seize weapons and military supplies. The colonies responded with the Boston Tea Party and the formation of the Continental Congress.

The Continental Congress, which met in Lancaster, Pennsylvania, and then in York, Pennsylvania, and finally in Philadelphia, declared the colonies' independence from Britain on July 4, 1776.

The Declaration of Independence, which was signed by the members of the Continental Congress, stated that the colonies were no longer part of the British Empire and that they were now free and independent states.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.

The British, who had been defeated at the Battle of Brandywine in 1777, evacuated the city of Philadelphia and moved their headquarters to Lancaster, then to York, and finally to Lancaster, where they remained until the end of the war.